

FACULTE DE MEDECINE DE PARIS

ANNEE 1969

THESE

N^o 907

POUR LE

DOCTORAT EN MEDECINE

(Diplôme d'Etat)

P A R

Claude, Robert, Maurice MICHEL

Né le 26 Novembre 1939 à EPERNAY (Marne).

PRESENTEE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE :

ROLE DE L'ORGANISATION INTERNATIONALE DU TRAVAIL
DANS LA PROTECTION CONTRE LES RADIATIONS IONISANTES.

Président : Mr BLANCHER, Professeur.

FACULTE DE MEDECINE DE PARIS

ANNEE 1969

THESE

N^o

POUR LE

DOCTORAT EN MEDECINE

(Diplôme d'Etat)

P A R

Claude, Robert, Maurice MICHEL

Né le 26 Novembre 1939 à EPERNAY (Marne).



PRESENTÉE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE :

ROLE DE L'ORGANISATION INTERNATIONALE DU TRAVAIL
DANS LA PROTECTION CONTRE LES RADIATIONS IONISANTES.

Président : Mr BLANCHER, Professeur.



1^{er}/3/1968

PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. Alajouanine (T.), Bénard (H.), Bernard (E.), Binet (L.), Bulliard (H.), Cathala (J.), Chabrol (E.), Chailley-Bert (P.), Cheymol (J.), Coste (F.), Debré (R.), Dechaume (M.), Galliard (H.), Gaudard d'Allaines (F. de), Gennes (L. de), Giroud (A.), Hazard (R.), Heuyer (G.), Lacomme (M.), Lamy (M.), Laroche (G.), Lelong (M.), Lévy (M^{lle} J.), Lévy-Solal (E.), Lian (C.), Maduro (R.), Marchal (G.), Mathieu (P.), Monod (R.), Moreau (R.), Moulonguet (P.), Pasteur Vallery-Radot, Petit-Dutaillis (D.), Piédelièvre (R.), Quénu (J.), Renard (G.), Senèque (J.), Strohl (A.), Tanon (L.), Turpin (R.), Verne (J.).

DOYEN Georges BROUET

1^{er} ASSESSEUR Daniel BARGETON

2^e ASSESSEUR Jean GOSSET

A. — CHAIRES DE SCIENCES FONDAMENTALES

	MM.
Anatomie	DELMAS (A.)
—	HUARD (P.)
à titre personnel	CABROL (Ch.)
— —	OLIVIER (G.)
Anatomie et Cytologie pathologiques	DELARUE (J.)
à titre personnel	NEZELOF (Ch.)
— —	ORCEL (L.)
Biochimie médicale	JAYLE (M.-F.)
— —	DESGREZ (P.)
— —	POLONOVSKI (J.)
Chimie Pathologique	SCHAPIRA (G.)
à titre personnel	CARTIER (P.)
— —	DREYFUS (J.-Cl.)
Biologie médicale (à titre personnel)	BOURLIÈRE (F.)
— —	HARTMANN (L.)
Biophysique médicale	BUGNARD (L.)
— —	DJOURNO (A.)
— —	DOGNON (A.)
à titre personnel	KELLERSHOHN (L.)
— —	GOUGEROT (L.)
— —	ROUCAYROL (J.-Cl.)
Cancérologie expérimentale	MATHÉ (G.)
Génétique fondamentale	LEJEUNE (J.)
Histologie et Embryologie	COUJARD (R.)
— —	TUCHMANN-DUPLESSIS (H.)
à titre personnel	RAGADOT (J.)
Microbiologie	FASQUELLE (R.)
Bactériologie et Virologie	TOURNIER (P.)
à titre personnel	BARBIER (P.)
Parasitologie	LARIVIÈRE (M.)
Pathologie expérimentale et comparée	MERKLEN (F.-P.)
à titre personnel	LÉPER (J.)
Pharmacologie	BOISSIER (J.-R.)
—	LECHAT (P.)

	MM.
Physiologie	BARGETON (D.)
—	MALMEJAC (J.)
—	PARROT (J.)
à titre personnel	DEJOURS (P.)
Physiologie et biologie appliquée aux sports	SCHERRER (J.)

B. — CHAIRES DE SCIENCES CLINIQUES

1^o MÉDECINE

Biologie médicale.	FAUVERT (R.)
Histoire de la Médecine et de la Chirurgie	COURY (Ch.)
Hygiène et Médecine préventive.	BOYER (J.)
Médecine du Travail.	DESOILLE (H.)
Médecine légale, droit médical et déontologie	DEROBERT (L.)
Pathologie exotique.	BRUMPT (L.-G.)
Pathologie médicale.	BUGE (A.)
— —	BRICAIRE (H.)
— —	CORNET (A.)
— —	HOUSSET (E.)
— —	LAROCHE (Cl.)
à titre personnel	AZERAD (E.)
— —	BOUR (H.)
— —	BROCARD (H.)
— —	CAROLI (J.)
— —	FACQUET (J.)
— —	LAMBLING (A.)
— —	LAUNAY (Cl.)
— —	PAYET (M.)
— —	PERRAULT (M.)
— —	SIGUIER (F.)
— —	WORMS (R.)
— —	BCUVIER (J.)
Pathologie respiratoire.	TURIAF (J.)
Pathologie et Thérapeutique générales	MAURICE (P.)
Thérapeutique	LAMOTTE (M.)
Thérapeutique appliquée.	MARCHE (J.)

Chaires de Cliniques :

Clinique cardiologique (Boucicaut)	LENÈGRE (J.)
— — (Broussais)	SOULIÉ (P.)
Clinique dermatologique (Saint-Louis).	DUPERRAT (F.)
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques (Saint-Louis)	DEGOS (R.)
Clinique endocrinologique (Pitié)	DECOURT (J.)
Clinique des maladies infectieuses (Claude-Bernard).	MOLLARET (P.)
à titre personnel	BASTIN (R.)
Clinique des maladies mentales et de l'encéphale (Sainte-Anne)	DELAY (J.)
à titre personnel (neuro-psychiatrie).	PICHOT (P.)
Clinique des maladies du système nerveux (Salpêtrière)	CASTAIGNE (P.)
Clinique neurologique (Salpêtrière)	GARCIN (R.)
à titre personnel	LHERMITTE (F.)
Clinique de neuro-psychiatrie infantile (Salpêtrière)	MICHAUX (L.)

	MM.
Clinique des maladies du sang (Broussais)	BERNARD (J.)
à titre personnel (hématologie)	ANDRÉ (R.)
— — —	BOUSSER (J.)
— — —	DREYFUS (B.)
Bicêtre.	DEPARIS (M.)
Broussais.	MILLIEZ (P.)
Cochin.	PÉQUIGNOT (H.)
Cliniques médicales Hôtel-Dieu	BARIETY (M.)
Pitié.	DREYFUS (G.)
Saint-Antoine.	BOUDIN (G.)
—	CONTE (M.)
—	KOURILSKY (R.)
Clinique médicale propédeutique (Broussais)	JUSTIN-BESANÇON (L.)
Clinique thérapeutique médicale (Saint-Antoine)	LEMAIRE (A.)
Clinique et Séméiologie médicales (Antoine-Chantin).	DOMART (A.)
Séméiologie médicale (Lariboisière)	BOUVRAIN (Y.)
— — (Pitié)	RAMBERT (P.)
— — (Rothschild)	WOLFROMM (R.)
Clinique d'Hydrologie et de Climatologie (Bichat)	DEBRAY (Ch.)
à titre personnel	GIBERTON (A.)
Clinique médico-sociale du diabète sucré et des maladies métaboliques (Hôtel-Dieu).	DEROT (M.)
Clinique néphrologique (Necker)	HAMBURGER (J.)
à titre personnel	RICHEL (G.)
— —	CROSNIER (J.)
Clinique de Génétique médicale (Enfants-Malades)	ROYER (P.)
Clinique des maladies des enfants (Enfants-Malades).	MOZZICONACCI (P.)
Clinique médicale infantile et de pédiatrie sociale (Enfants-Malades).	MARIE (J.)
Clinique de pédiatrie (Trousseau)	BRISAUD (H.)
à titre personnel	LESOBRE (R.)
Clinique de pédiatrie et de puériculture (Saint-Vincent-de-Paul)	THIEFFRY (S.)
Hygiène et Clinique de la première enfance (Trousseau)	LAPLANE (R.)
à titre personnel	POLONOVSKI (Cl.)
Clinique de pneumo-phtisiologie (Laennec)	BROUET (G.)
à titre personnel	KREIS (B.)
— —	MEYER (A.)
Clinique de rééducation motrice.	GROSSIORD (A.)
Electroradiologie	LEDoux-LEBARD (M.)
—	LEFEBVRE (J.)
Radiologie médicale.	DESGREZ (H.)
à titre personnel	FISCHGOLD (H.)
— —	TUBIANA (M.)
— —	CHERIGIE (E.)
Clinique de rhumatologie médicale et sociale (Cochin).	DELBARRE (F.)
Clinique rhumatologique (Lariboisière)	SÈZE (S. de)
Clinique toxicologique (Fernand-Widal)	GAULTIER (M.)

2^o CHIRURGIE

Anesthésiologie	VOURC'H (G.)
Pathologie chirurgicale	LAURENCE (G.)
— —	KUSS (R.)
— —	N...
à titre personnel	RAMADIER (J.)
Physiologie et pathologie obstétricales	MORIN (P.)
Technique chirurgicale et chirurgie expérimentale	MONSAINGEON (A.)

Chaires de Cliniques :

Clinique carcinologique (Gustave-Roussy)	DENOIX (P.)
Clinique carcinologique chirurgicale (Necker)	REDON (H.)
à titre personnel	BRÉHANT (J.)
Cliniques chirurgicales	Beaujon LORTAT-JACOB (J.-L.)
	— BAUMANN (J.)
	Cochin LÉGER (L.)
	Hôtel-Dieu PATEL (J.)
	Saint-Antoine GOSSET (J.)
	Salpêtrière SICARD (A.)
Tenon	OLIVIER (Cl.)
Clinique thérapeutique chirurgicale (Vaugirard)	ROUX (M.)
Sémiologie et clinique chirurgicales (Broussais)	POILLEUX (F.)
— — — (Saint-Louis)	DEBEYRE (J.)
Clinique chirurgicale orthopédique et traumatologique (Cochin)	MERLE d'AUBIGNÉ (R.)
— — — — (Foch)	PADOVANI (P.)
— — — — (Beaujon)	CAUCHOIX (J.)
Clinique traumatologique et orthopédique (Raymond-Poincaré)	JUDET (R.)
Clinique de chirurgie infantile et orthopédique (Enfants-Malades)	FÈVRE (M.)
à titre personnel	CHIGOT (P.-L.)
Clinique de chirurgie cardio-vasculaire (Broussais)	DUBOST (Ch.)
Clinique de chirurgie thoracique (Laennec)	MATHEY (J.)
à titre personnel	GAUDART D'ALLAINES (Cl. de)
Clinique chirurgicale et gynécologique (Broca)	HUGUIER (J.)
Clinique obstétricale (Baudelocque)	LEPAGE (F.)
— — (Saint-Antoine)	MERGER (R.)
Clinique obstétricale et gynécologique (Port-Royal)	VARANGOT (J.)
Clinique de neuro-chirurgie (Pitié)	DAVID (M.)
à titre personnel	LEBEAU (J.)
Clinique ophtalmologique (Cochin)	BRÉGEAT (P.)
— — (Hôtel-Dieu)	OFFRET (G.)
Clinique oto-rhino-laryngologique (Lariboisière)	AUBRY (M.)
Clinique stomatologique (Salpêtrière)	GERNEA (P.)
Clinique urologique (Cochin)	ABOULKER (P.)
— — (Necker)	COUVELAIRE (R.)

C. — PROFESSEURS SANS CHAIRE

	MM.		MM.
Anatomie	GILLOT (Cl.)	Médecine générale	AUSSANNAIRE (M.)
Anatomie pathologique	GOUYGOU (Ch.)	Maladies Infectieuses	DUPONT (V.)
Bactériologie	CHRISTOL (D.)	Neuro-psychiatrie	TARDIEU (G.)
Bactériologie	LE MINOR (L.)	Pédiatrie	ROSSIER (A.)
Biochimie médicale	{ CARTIER (P.) GONNARD (P.) NORDMANN (J.)	Physique médicale	{ COURSAGET (J.) GREMY (F.) PELLERIN (P.)
Chirurgie	CERBONNET (G.)	Physiologie	{ DURAND (J.) GIRARD (Fr.) HUGELIN (A.)
Hématologie	{ BESSIS (M.) BILSKI-PASQUIER (B.)	Stomatologie	CHAPUT (M ^{me} A.)
Hygiène	{ BLANCHER (G.) CORRE-HURST (M ^{me} L.)	Pharmacologie	SCHMITT (H.)
Médecine légale	{ CECCAL (P.) HADENGUE (A.) FOURNIER (E.)		

D. — PROFESSEURS DÉTACHÉS DANS LES UNIVERSITÉS ÉTRANGÈRES

	MM.
Pathologie chirurgicale	RUDLER (J.) Pr. s. ch.

E. — PROFESSEURS ASSOCIÉS

Hormonologie	MORICARD (R.)
Statistique médicale et épidémiologie	SCHWARTZ (D.)
Néphrologie	MAXWELL (M.)

Secrétaire général de la Faculté	M. LENA (J.)
Conseiller administratif	Mlle CHAINTREUIL (G.)
Conservateur en Chef de la Bibliothèque. Conservateur du Musée d'Histoire de la Médecine	M. le Docteur HAHN (A.)
Conservateurs	{ Mme FORGET (F.), Miles DUMAITRE (P.), LAURENT (H.), LE NOIR (G.)
Bibliothécaires	{ Mmes CONTET (J.), Miles DUROZOY (M.-F.), ROBERGE (D.), LE QUANG LINH (G.), REUGE (M.)

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A mes Parents

A ma Femme

A ma Fille

A mes Soeurs

A mon Frère

A mes Beaux-Parents

A toute ma Famille

A tous mes Amis.

A NOTRE MAITRE,

Le Professeur Agrégé Gabriel BLANCHER

Médecin des Hôpitaux de Paris

Maître de Conférences

Qui nous a inspiré le sujet de cette
thèse et nous a apporté ses précieux conseils
au cours de ce travail

Qu'il trouve ici l'expression de notre
profonde gratitude.

A NOS MAITRES D'EXTERNAT

Qu'ils veuillent trouver ici le
témoignage de notre reconnaissance.

I N T R O D U C T I O N

L'objet de cette thèse est d'étudier le rôle de l'organisation internationale du travail dans la protection contre les radiations ionisantes.

oOo

P L A N

I - INTRODUCTION - RAPPEL DES EFFETS BIOLOGIQUES DES RADIATIONS
IONISANTES.

II - PRINCIPES DE LA PROTECTION CONTRE LES RADIATIONS :

- a - Normes de sécurité
- b - Les examens médicaux
- c - La surveillance technique

III - HISTORIQUE DE L'O.I.T.

IV - ROLE DE L'O.I.T. DANS LA DEFINITION ET L'APPLICATION DES NORMES

V - O.I.T. ET SURVEILLANCE MEDICALE

VI - O.I.T. ET SURVEILLANCE TECHNIQUE

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

RAPPEL DES EFFETS BIOLOGIQUES DES RADIATIONS IONISANTES

DU FAIT PHYSIQUE A L'EFFET BIOLOGIQUE

L'action des radiations ionisantes sur la matière s'effectue en trois étapes :

- une première physique déterminant la production de paires d'ions de durée 10^{-13} , " ce qui détermine la production de paires d'ions;
- une deuxième chimique, caractérisée par l'existence de radicaux libres, de durée 10^{-9} ;
- une biologique enfin aboutissant à la radio-lésion.

I - L'ETAPE PHYSIQUE PRIMAIRE

L'atome possède un noyau et un nombre paire d'électrons disposé sur chaque orbite périphérique.

Les énergies de liaison maintiennent les électrons sur leur orbite.

Tout atome est susceptible d'être excité, soit ionisé si un ou plusieurs électrons est éjecté hors de l'atome.

Ces états excités permettent aux atomes de stocker une énergie pouvant être libérée sous forme chimique ou cinétique.

De fait, les rayonnements sont plus ou moins absorbés en pénétrant dans la matière, et c'est en arrachant des électrons aux atomes de ce milieu qu'ils cèdent leur énergie. Un photon incident qui rencontre un électron utilise tout ou partie de son énergie à l'éjecter. L'électron éjecté possède une

certaine vitesse. Le photon-électron donne naissance à son tour en heurtant un atome à un ion positif constitué par la molécule ayant perdu un électron, et à un ion négatif formé par l'électron éjecté.

Le photon-électron donne naissance tout au long de son trajet à un grand nombre de paires d'ions de signes contraires, son trajet est d'autant plus long que son énergie initiale était plus grande.

Parmi les radiations électromagnétiques, seules sont capables de provoquer une ionisation celles dont le quantum énergétique est égal à l'énergie de liaison de l'électron le moins lié du milieu irradié.

Le nom de radiations ionisantes est réservé aux radiations capables d'ioniser l'air. Le quantum énergétique doit être égal à 15 électrons-volts.

Les rayonnements corpusculaires chargés tels les rayons α ou β sont directement ionisants.

Chaque particule se compose de deux protons et de deux neutrons, c'est le noyau d'un atome d'hélium He^4 , sa charge étant positive il est directement ionisant.

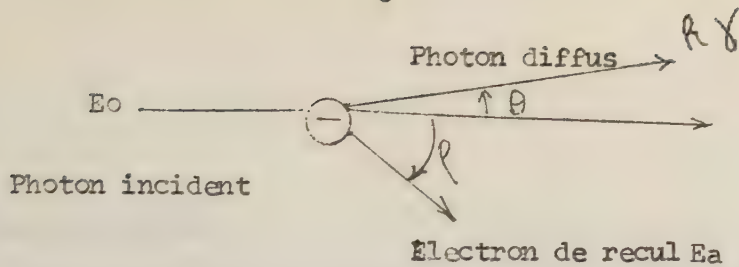
Les β parce qu'ils sont des corpuscules chargés négativement ce sont des électrons ordinaires qui sont éjectés avec une grande énergie cinétique, pendant la désintégration de certains noyaux radio-actifs.

2 - LES RAYONNEMENTS NEUTRES RX, γ et NEUTRONS ne deviennent ionisants qu'indirectement.

Les rayons X ou γ selon trois procédés dont le type et la fréquence dépendent de la nature de la particule et de l'énergie des photons.

a - Avec un électron orbital d'un atome proche du noyau le photon disparaît en arrachant un électron de son orbite, c'est l'effet photo-électrique.

b - Lorsque le photon rencontre un électron peu lié, le photon diffuse et donne un électron de recul



c - Avec le noyau d'un atome pour une énergie supérieure à 10^6 Mev, matérialisation ou production de paire.

La production de paire est une réaction dans laquelle un photon disparaît en donnant un électron ordinaire et un positon.

Le positon libère son énergie cinétique par ionisation, puis se combine avec un électron ambiant.

La combinaison annihile ces deux particules, en donnant deux photons gamma dont chacun a une énergie de 0,5 EV.

d - Les neutrons , étant donné qu'ils sont neutres, pénètrent profondément dans la matière et sont ionisants de deux façons selon leur énergie cinétique.

On les classe en neutron rapide si leur énergie cinétique est supérieure à 1000 ev, en neutron thermique si leur énergie cinétique est de l'ordre de 0,025 ev.

Les neutrons rapides subissent avec les noyaux du milieu absorbant des collisions type boule de billard.

Dans chacune de ces collisions, le neutron cède une partie de son énergie cinétique au noyau bombardé qui est projeté.

Ce noyau de recul perd un ou plusieurs de ses électrons.

Pour les neutrons thermiques on obtient une ionisation par choc inelastique (pénétration dans les noyaux rencontrés et capture radiative formant un isotope émetteur β et γ en général).

Ce sont ces électrons secondaires mis en mouvement par les radiations ionisantes qui sont les agents physiques directs des effets chimiques et biologiques.

DEDUCTION

1 - Les doses, les unités

C'est le même phénomène d'ionisation qui sert à caractériser les effets biologiques des radiations. On définit une quantité déterminée appelée dose:

- dose d'exposition si l'appareil enregistreur est situé en dehors de l'organisme,
- dose absorbée si l'appareil enregistreur est situé dans l'organisme.

L'unité dans le premier cas est le Roentgen ou l'énergie est rapportée au Cm³ d'ion irradié

Dans le second le rad ou l'énergie est rapportée au gramme de matière irradiée.

On considère également la densité linéaire des ionisations ou ionisation spécifique qui est le nombre d'ionisations produites par unité de longueur de la trajectoire. L'ionisation spécifique équivaut au rapport $\frac{T.E.L.}{W}$.

T.E.L. : énergie transférée à la matière par unité de longueur de la trajectoire de l'électron.

W : énergie moyenne d'ionisation dans le milieu.

2 - Efficacité biologique relative E.B.R.

L'action de l'irradiation sur un milieu ne dépend pas seulement de l'énergie absorbée par gramme de matière, mais aussi de la nature et de l'énergie du rayonnement absorbé.

Pour obtenir avec deux rayonnements A et B la même action sur un milieu, les énergies absorbées par gramme D_a et D_b doivent être différentes.

$\frac{D_a}{D_b}$ représente l'efficacité relative du rayonnement b par rapport au rayonnement a.

Si l'action observée est une action biologique le rapport définit l'efficacité biologique relative des deux rayonnements, il en découle une nouvelle unité.

$$\underline{1 \text{ rem} = 1 \text{ rad} \times \text{EBR}}$$

LES ETAPES PHYSICO-CHIMIQUES

1 - Mécanisme direct des radiations ionisantes.

On appelle ainsi les transformations subies par les molécules constitutives des tissus du fait des ionisations.

L'effet directe peut avoir des conséquences biologiques importantes selon le type de molécules atteintes (enzymes ou structures intra-cellulaires)

L'hypothèse selon laquelle les conséquences biologiques d'une irradiation sont dues à un effet direct, constitue la théorie de la cible.

Obtenir un effet biologique déterminé revient à atteindre une zone sensible de chaque cellule, une cible qui doit être touchée pour obtenir un effet.

Cette théorie de la cible a le mérite de faire intervenir la notion de probabilité, d'expliquer les actions discontinues et de montrer qu'avec de faibles doses on puisse provoquer des effets importants.

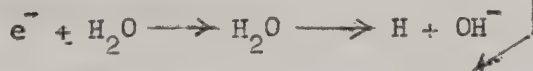
2 - Mécanisme indirect d'action des radiations ionisantes , théorie chimique

Les phénomènes physiques élémentaires aboutissent à la formation d'ions. La couche périphérique possède un nombre impair d'électrons.

L'ion radical est instable et tend à apparier son électron célibataire en capturant un autre électron.

Dans le cas de la radiolyse de l'eau ainsi nous avons ionisation initiale $\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\text{O}^+ + \text{e}^-$

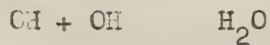
décomposition de $\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$



10^{-7} secondes après le passage de la particule on observe la formation de deux radicaux libres

- l'un OH puissant agent d'oxydation
- l'autre H réducteur

Ces radicaux peuvent agir entre eux :



Ce sont des modifications chimique qui correspondent à l'effet indirect. Cette notion explique l'effet de l'oxygène, il est susceptible de réagir sur les radicaux libres pour former des agents d'oxydation très actifs pouvant agir sur des molécules biologiquement très importantes.

Tels sont les deux mécanismes invoquer pour expliquer l'action des radiations ionisantes.

ACTION BIOLOGIQUE PROPREMENT DITE DES RADIATIONS IONISANTES

I - Facteurs de variation des effets

Les effets varient selon le matériel irradié et selon la technique d'irradiation.

1 - Suivant le matériel irradié :

L'action biologique a été étendue dans toute l'échelle des être vivants. Les effets sur les êtres unicellulaires sont les plus simples à comprendre mais l'extrapolation à l'homme reste hasardeuse.

2 - Suivant la technique d'irradiation :

800 rads en irradiation totale entraînent la mort de l'homme. Cette dose administrée sur un champ 10 x 10 ne détermine pas d'effets généraux.

Ceci fait intervenir la notion de dose intégrale (unité le rad-gramme)

- selon la durée de l'irradiation
- selon le type de radiation utilisée.

II - Action des radiations sur la cellule

On peut observer par ordre de gravité décroissante :

1 - La mort immédiate

différée

retard de croissance

transmission héréditaire d'une radio-mutation.

Facteur de radio-sensibilité cellulaire :

a - La mitose constitue en effet un état de moindre résistance.

b - Le degré de différenciation . Les cellules peu différenciées sont très sensibles.

c - L'état fonctionnel de la cellule.

Les cellules sont les plus sensibles au moment où l'activité fonctionnelle est la plus grande.

Il faut savoir qu'en matière de radiothérapie anti-tumorale, la radio-sensibilité histologique n'est pas tout, elle est une condition nécessaire de la radio-sensibilité clinique.

III - Action des radiations ionisantes sur les tissus

Effets somatiques :

• Organes hématopoïétiques :

En ce qui concerne le système hématopoïétique, les cellules les plus sensibles sont les cellules souches.

D'autre part le tissu lymphoïde est plus sensible que le tissu myéloïde..

Dans le cas des irradiations chroniques, il peut y avoir une leucopénie légère accompagnée d'anémie.

C'est pour cela que des numérations sont faites systématiquement au personnel dans les centres atomiques.

Du point de vue sanguin, l'autre grande catégorie de troubles qui peuvent se produire est l'apparition des leucémies.

Le problème des leucémies radio-induites est évidemment un problème extrêmement important. Diverses études statistiques ont été faites.

Au Danemark, on a noté chez les leucémiques quels étaient les examens radiologiques subis au cours des cinq dernières années et on a trouvé qu'il

y avait plus de leucémiques parmi les sujets ayant été soumis à une irradiation.

De même il y aurait plus de leucémies chez les enfants qui ont été irradiés in utéro.

Cela amène en passant à parler de la sensibilité de l'embryon, qui est extrêmement importante, d'où la nécessité de proscrire de façon absolue tout examen radiologique de l'abdomen chez les femmes enceintes.

Il existe donc tout un faisceau de faits qui tendent à prouver qu'il y a une relation entre leucémies et rayonnements. Mais on ne connaît pas encore qu'elle est la relation exacte entre la manière dont elle est administrée et l'apparition de la leucémie. Le risque leucémogène serait de 10^{-6} Roentgen et par an, autrement dit l'administration d'un R à un million d'habitants provoquerait un cas de leucémie supplémentaire par an pour ce groupe de sujets.

• Muqueuse digestive :

L'épithélium du tube digestif est très sensible, après forte irradiation on peut avoir mort par intoxication intestinale. L'épithélium devient transparent, les bactéries passent dans l'organisme, et comme les défenses de l'organisme ont été abolies, la mort survient par septicémie.

• Organes génitaux :

a - Testicules :

Avec les effets cutanés, les effets des RX sur les testicules sont les plus connus.

Sur les testicules de rat irradié avec une dose unique de 1200 rads on observe une hypozoospermie vers le 30e jour, et la disparition des spermatozoïdes vers le 60e jour.

- Anatomopathologie : les lésions portent sur les spermatogonies, et fait important la glande interstitielle possède une radio-résistance.

b - Ovaires :

Si l'on irradie les ovaires avec 1200 rads on obtient une atrophie des organes génitaux et une stérilité totale.

- Anatomie pathologie : L'ovocyte et les cellules de l'épithélium des follicules sont radio-sensibles.

. Thyroïde :

Dans le domaine des glandes endocrines, on observe après l'irradiation de la thyroïde, un abaissement du métabolisme et cet abaissement semble proportionnel à la dose.

D'autre part, on sait que voici quelques années, on irradiait les enfants qui avaient de gros thymus et on a vu apparaître chez certains d'entre eux au bout de quelques années, des cancers de la thyroïde.

. Organes des sens :

Nous n'en parlerons que pour signaler les possibilités d'altération du cristallin.

Après des doses importantes de rayonnement on observe des caractes et il faut noter que celles-ci n'apparaissent pas seulement après irradiation par les neutrons, mais également après irradiation par les rayons X ou γ

. Système cardio-vasculaire:

Les études statistiques montrent que les lésions d'artério-sclérose apparaissent plus précocément chez les professionnels des rayons X.

Une irradiation continue à faible dose, est capable de provoquer, dans les tissus, des lésions de sclérose analogues à ceux qu'entraîne le vieillissement naturel.

Certains auteurs pensent que la senescence des êtres vivants trouve son origine dans la radio-activité naturelle.

Radio-lésions cutanées :

Pour les doses uniques croissantes, on observe avec 500 rads épilation en 10 jours;

- entre 500 et 1200 rads, un érythème
- avec 2000 rads érythème suivie de l'apparition de phytènes et mise à nu du derme réalisant l'épidermite exsudative de REGAN et NOGUR.
- avec des doses supérieures à 2000 rads, se voit la radio-nécrose.

Pour de petites doses répétées pendant des années une radiodermite chronique peut s'installer, et dans certains cas, après des temps de latence les plus élevés, qui ont atteint jusqu'à 20 ans, des cancers cutanés peuvent apparaître.

Pour ces cancers, les mêmes problèmes se posent que pour la leucémie.

Quel est le rapport entre la dose administrée et l'apparition du cancer, et quel est le rapport entre le fractionnement de cette dose et l'apparition du cancer ?

Enfin, y-a-t-il un seuil au-dessous duquel il ne peut y avoir ni apparition de cancer, ni apparition de leucémie .

Un certain nombre de travaux tenteraient à prouver qu'on augmente les risques de cancérisation quand une nouvelle irradiation survient au cours des phénomènes de restauration se produisant après une première irradiation. A ce moment, des irradiations chroniques auraient plus de chance de provoquer une cancérisation qu'une seule irradiation aiguë.

En ce qui concerne la question de seuil, des travaux ont été effectués sur les cancers cutanés chez la rate.

Il existe une relation dose-effet linéaire jusqu'à 25 rads. On peut se demander pourquoi il serait incorrect d'extrapoler jusqu'à 0 et admettre qu'il n'y a pas de seuil dans ce cas particulier.

Irradiations aiguës généralisées :

Quatre phases sont observées après une irradiation aiguë généralisée :

- phase de choc
- phase de latence

- phase de recrudescence
- phase d'aggravation ou de rémission selon l'importance de la dose reçue.

Les doses léthales sont schématiquement :

- 100 % pour 650 rads
- 60 % pour 400 rads
- dose d'alarme 150 rads

• Risques somatiques par contamination radioactive

Un rayonnement peut manifester son action nocive de deux manières, à savoir par irradiation et par contamination.

Pour les irradiations, seuls sont considérés les rayonnements X ou γ et les neutrons.

Pour la contamination, l'on ne considère que les rayonnements α , β , ou γ . Les radionucléides peuvent pénétrer dans l'organisme par diverses voies : ingestion, inhalation, pénétration au niveau des blessures.

Quelle que soit la voie de pénétration, l'irradiation se fait sentir tout au long de la voie d'absorption, qui peut être le tube digestif, les muqueuses nasales et les tissus pulmonaires, ou certaines zones localisées de la peau.

Les substances introduites dans l'organisme peuvent se déplacer, par rapport au siège initial de pénétration sous l'influence de facteurs biologiques, ou mécaniques tels que les dimensions des particules.

La concentration du nucléide dans un organe donné peut se traduire par une irradiation localisée de ce dernier.

Le radium et le strontium, par exemple sont appelés "ostéotropes" parce que l'os est l'un des lieux d'élection sur lesquels ils se fixent.

Ainsi de nombreux ouvriers qui appliquaient des composés luminescents à base de radium sur des cadrans de montres et qui appointaient leurs pinceaux avec la bouche sont morts de sarcomes osseux.

On sait également que les mineurs de Bohême qui extrayaient l'uranium destiné à la production du radium, sont morts, dans une grande proportion de cancer du poulmon.

IV - Action génétique

Les caractères héréditaires d'une cellule sont contrôlées par des gènes que l'on sait être déposés sur toute la longueur des chromosomes.

L'existence d'une mutation correspond à la disparition ou à l'apparition brusque d'un caractère qui se transmet ensuite sans variation.

MULLER en 1927 a démontré que toute cellule atteinte par un rayonnement peut être le siège de changements génétiques. Dans les mutations survenues dans les cellules somatiques la conséquence peut être l'apparition de cellules anormales.

Les mutations induites par les rayonnements les plus graves à l'échelle de la population sont les mutations survenues dans la lignée germinale.

Les radiations peuvent provoquer soit des altérations morphologiques décelables des chromosomes, soit des modifications de la seule partie fonctionnelle du gène : ce sont les mutations ponctuelles.

L'usage de l'énergie ionisante étant relativement récente il n'est possible d'avoir d'information que sur la première génération.

Cette première génération est celle qui nous donne la plus grande quantité d'informations génétiques. Dans la descendance d'individus irradiés, on ne peut voir que les grosses mutations chromosomiques. En définitive trois choses peuvent être observées :

- 1 - la mortalité foetale
- 2 - Les malformations
- 3 - Le sex ratio.

En ce qui concerne la mortalité foetale, à Hiroshima on n'a pas trouvé d'augmentation significative.

Dans le cas des malformations, il y avait une petite augmentation à Hiroshima et Nagasaki.

En ce qui concerne le rapport des sexes, dans le cas de l'irradiation du père, on a trouvé une augmentation significative du nombre de garçons.

Dans le cas de l'irradiation de la mère, les données montrent qu'il y a un déficit de garçons.

Chez la femme un roentgen frappant les ovaires donne une diminution du sex ratio égale à -6×10^{-5} .

Si l'on s'intéresse au vieillissement on s'aperçoit qu'un vieillissement de 5 ans donne une diminution de $-3,36 \times 10^{-4}$.

Etant donné que les femmes ont une trentaine d'années à la naissance des enfants, on admet que la "sex ratio" potentielle de la descendance doit diminuer entre la naissance de la mère et l'âge de sa reproduction de $6 \times -3,36 \times 10^{-4}$ on s'aperçoit que pour obtenir le même effet par irradiation, il suffirait d'une irradiation des gonades maternelles de $-3,36 \times 10^{-4} \times 6 = D \times -6 \times 10^{-5}$

$$D = 30 \text{ roentgens}$$

On ne connaît pas le nombre absolu de mutations qui se produisent à chaque génération, mais si on connaît la quantité de radiations produisant deux fois plus de mutations, on possède un moyen simple de mesurer le danger d'irradiation.

Le paramètre de la dose de doublement peut se calculer dans l'espèce humaine à partir du sex ratio.

Les doses de doublement sont de l'ordre de 50 roentgens si une population était soumise à la dose de doublement. Par génération accumulée dans les 30 ans qui séparent la naissance de la reproduction, on verrait doubler en une vie humaine la fréquence des tares graves.

L'irradiation des gonades est diversement interprétée, mais on considère que le simple usage de la radiologie médicale, correspond en France à l'accumulation en 30 ans d'une irradiation des gonades égale à 3 roentgens, à la surface de l'écorce terrestre. L'homme est soumis à une quantité de

radiations inévitable, elle aussi de l'ordre de 3 roentgens.

L'usage de la radiologie double la quantité des radiations qui frappent les organes reproducteurs de l'espèce.

Il est évident que les trois roentgens fournis par la médecine sont detestables.

A l'heure actuelle il est raisonnable de considérer que le risque d'irradiation génétiquement dangereux repose beaucoup plus sur l'usage d'appareils médicaux que sur l'usage industriel de l'énergie atomique ou même sur son usage militaire.

Ces trois roentgens semblent produire un nombre de mutations égal au dixième de ce qui se produirait spontanément.

CONCLUSION

Telles sont les principales actions biologiques des radiations ionisantes.

Les effets radio-biologiques sont liés à la dose.

L'effet radiobiologique qu'il soit somatique ou génétique peut être tolérable ou nocif.

La notion du danger des radiations et l'incertitude inquiétante relative aux risques somatiques et génétiques ont conduit à définir des normes de sécurité.

- II -

PRINCIPES DE LA PROTECTION CONTRE LES RADIATIONS

Il est inévitable que l'industrie fasse de plus en plus usage des radiations. Elles trouvent de larges possibilités d'application dans divers procédés de fabrication.

Dans l'utilisation industrielle des radiations, la sécurité des travailleurs doit rester primordiale. Comme l'homme ne possède aucun organe sensoriel qui lui permette de percevoir les radiations, il dépend entièrement des instruments de détection et d'une surveillance médicale rigoureuse.

Les radiations comme tous les autres agents agressifs peuvent être supportées jusqu'à certains niveaux sans que l'organisme souffre d'atteintes observables.

Ainsi les principes de la protection reposent sur des :

- normes de sécurité,
- les examens médicaux ,
- et la surveillance technique.

NORMES DE SECURITE - PRINCIPES D'ETABLISSEMENT

1 - Notion d'irradiation tolérable

Il s'agit de savoir s'il existe des irradiations que l'on peut considérer comme tolérables. Ce problème est à la base de la protection contre les irradiations.

Les relations qui existent entre la dose de radiations reçues et les effets constatés revêtent un caractère essentiel. Les relations se présentent sous deux modalités : effets avec seuil et sans seuil.

Dans la majorité des cas les effets somatiques sont associés à des seuils, alors que dans le cas d'induction de mutations génétiques il n'y en a pas.

Dans le cas des effets avec seuil, on peut répondre de façon absolue, car on peut dire pour tous les effets il existe un seuil minimum au-dessous duquel on ne constatera aucun effet.

Il existe donc une irradiation tolérable.

La situation est différente pour ce qui est des effets sans seuil, car au fur et à mesure que les doses diminuent, la probabilité d'apparition d'un dommage reste élevée. Il existe une fréquence naturelle des mutations génétiques.

Par suite, on considère qu'une irradiation est tolérable si l'augmentation de fréquence pour une affection donnée reste dans les limites des fréquences naturelles.

Détermination des niveaux des irradiations tolérables.

a - Bases physiques

L'irradiation naturelle sert de référence excellente, puisqu'elle existe depuis toujours et que l'espèce humaine s'est développée en présence de cette irradiation.

La Commission Scientifique des Nations Unies dispose de valeurs très précises.

L'irradiation naturelle est de l'ordre de 0,1 rem par an et par personne.

Ces données physiques servent pour juger ce qu'il est raisonnable de faire dans le cas des effets sans seuil.

b - Données biologiques :

On dispose d'un grand nombre d'informations qui permettent de faire de la radiobiologie comparée entre les espèces.

Ces renseignements ont été complétés par des données concernant des observations humaines.

Ces données permettent de déterminer des niveaux appropriés.

II - Normes de securite fondamentales

Compte tenu de ces données, l'effet radibiologique résultant qu'il soit somatique ou génétique, peut être tolérable ou nocif.

Le seuil à partir duquel une irradiation devient nocive définit la limite maximale admissible.

La détermination des doses maximales admissibles (D.M.A.) permet de fixer les normes de sécurité, dont le respect doit, dans l'état actuel de nos connaissances mettre à l'abri de tout dommage par irradiation.

Pour ne s'en tenir qu'aux normes de protection contre ces radiations externes, celles-ci sont les suivantes :

- Pour une large fraction de la population, on se préoccupe avant tout du risque génétique.

Le fait qu'il n'y a ni seuil, ni restauration, fait admettre une dose admissible ne dépassant pas le taux de la radio-activité naturelle, soit 3 à 5 rems à 30 ans.

- Pour un sujet pris isolément, l'accord semble se faire pour qu'aucun sujet pris en particulier ne reçoive plus de 50 rems jusqu'à l'âge de 30 ans, et pas plus de 50 rems supplémentaires jusqu'à l'âge de 40 ans (à cet âge 9/10 des enfants à naître seraient nés), à 60 ans 200 rems seraient la D.M.A.

- Pour les sujets professionnellement exposés selon la commission internationale de radio-protection (C.I.P.R.) pour l'organisme entier et les organes critiques, la dose accumulée exprimée en rems ne devrait pas dépasser à l'âge N (exprimé en années), la valeur b donnée par la formule de base $d = 5 (N - 18)$. Par conséquent la D.M.A. serait de 5 R.

Sur le plan pratique, dans l'impossibilité d'effectuer une mesure de la dose annuelle, une dose hebdomadaire a été définie basée sur 48 semaines de travail par an. La dose acceptable par semaine est de 100 milli roentgens.

III - Normes de sécurité pratiques

Rappelons que les normes générales sont exprimées en rem par unité de temps, or, comme ces doses ne sont pas directement mesurables en rem, on exprime ces normes dite dérivées en unités pratiques de mesures à savoir le roentgen, le flux de neutron et le curie.

On ne peut évaluer l'irradiation subie par des individus qu'à partir de mesure portant sur l'irradiation ambiante ou sur la contamination ambiante.

On est amené à établir une correspondance entre les normes fixées pour les différentes modalités d'irradiation et les normes que nous venons de voir.

Les normes dérivées sont établies indépendamment les unes des autres pour un risque unique.

On considère donc une modalité d'irradiation particulière et l'on établit une correspondance entre cette modalité d'irradiation et les règles générales.

Des normes pratiques sont établies pour les deux modalités essentielles de l'irradiation : irradiation externe et contamination radioactive.

a - Irradiation externe

Pour les irradiations par rayonnement électromagnétiques X et gamma, tout ce qui a été dit au sujet des normes est applicable en remplaçant l'unité rem par l'unité Roentgen. On commet une erreur de 6 pour cent. On admet ceci car les rayonnements ont un facteur d'efficacité biologique relative égal à 1.

Pour les rayonnements beta la commission internationale des unités et mesures radiologiques n'a pas trouvé de formule satisfaisante. L'expression en roentgen ne s'applique pas, la dose s'exprime en rad.

Dans le cas des neutrons, on spécifie l'intensité de dose sous forme de flux de neutrons, c'est à dire en neutrons par centimètre carré par seconde.

Il est possible du point de vue de la dosimétrie de convertir les unités de flux en millirems.

Conversion des unités de flux en millirems (Manuel de protection contre les radiations dans l'industrie , Partie III B.IT)

Energie en neutrons	Flux donnant 100 mrem au cours d'une semaine de 40 heures (n/cm ² /s)
0,03 ev	670
100 ev	515
5000 ev	570
30 Mev	10

Il ressort de ce tableau, que les flux vont être d'autant plus réduits que le corpuscule a une énergie plus grande.

b - Contamination radioactive

Nous avons vu que les normes fondamentales prévoient que dans l'organisme entier, les gonades, les organes hématopoiétiques, la dose moyenne délivrée par an est au maximum de 5 rems.

Pour les autres organes la C.I.P.R. admet une valeur de 15 rems par an avec un maximum de 4 rems par trimestre.

Il existe une extension à cette règle la thyroïde pour laquelle on admet une dose de 30 rems par an.

Cependant signalons que les recommandations d'Euratom admettent 15 rems par an en la classant comme un organe quelconque.

On détermine la quantité de radio-éléments qui, maintenue en permanence dans le corps à un niveau donné, délivrera la dose 30 rem/an.

Une relation donnée par le C.I.P.R. permet de déterminer la dose en fonction de la quantité de radio-éléments contenus dans le corps :

$$d = \frac{Y q f E (EBR) N}{m}$$

m masse totale de l'organe dans lequel est fixé le radio-élément,

N facteur d'hétérogénéité

EBR facteur d'efficacité biologique relative

Y facteur numérique

q quantité de radio-éléments

E énergie libérée par la particule.

Cette formule s'applique pratiquement à tous les radioéléments.

La connaissance des quantités maximales admissibles ne permettent pas de résoudre tous les problèmes, parce qu'il n'est pas possible de mesurer directement les quantités de radio-éléments présentés dans l'organisme humain.

De plus, dans le domaine de l'Hygiène du Travail les risques de contamination interne proviennent de l'air et de l'eau essentiellement.

En admettant un horaire de travail de 40 heures par semaine, réparties en cinq jours de 8 heures, et 50 semaines de travail par an, en supposant une irradiation continue, il est possible d'établir une relation entre les

quantités maximales admissibles dans l'organisme et les concentrations maximales admissibles dans l'air et dans l'eau.

$$CM_{\text{air}} = \frac{K_a q f}{T f a (1 - e^{-0,693 \frac{t}{T}})} \quad (\text{relation donnée par l'OIT, cours de l'OIT, volume II})$$

K_a facteur numérique

qf quantité de radio-isotope de l'organe critique

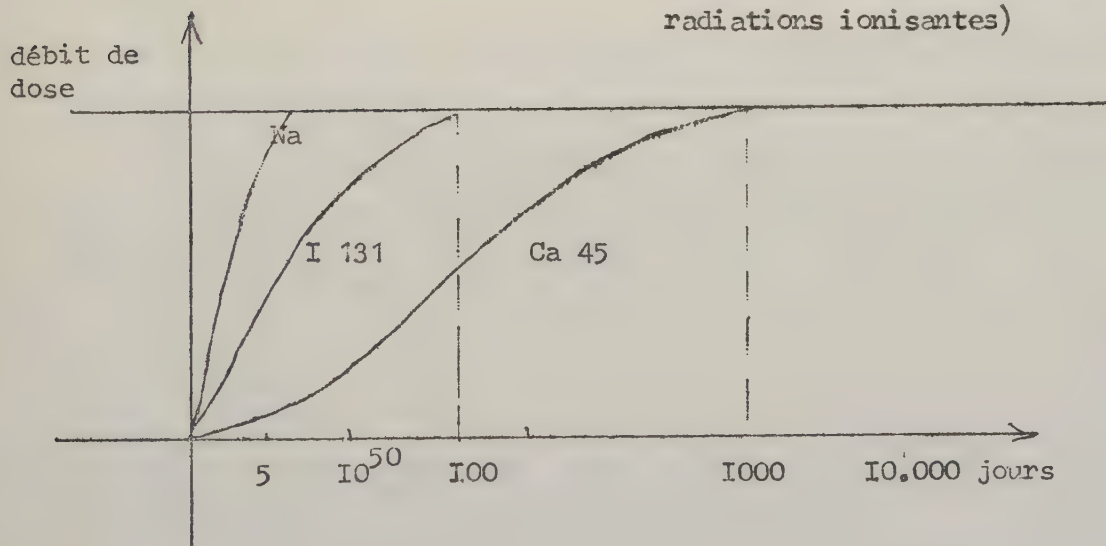
T Période effective

fa fraction de quantité de radio-isotope inhalés qui arrive dans l'organe critique

t durée d'exposition

En ce qui concerne l'eau il existe une formule analogue :

$$CM_{\text{eau}} = \frac{K_e q f}{T P e (1 - e^{-0,693 \frac{t}{T}})} \quad (\text{relation donnée par l'OIT - volume II cours sur la protection contre les radiations ionisantes})$$



Na 24

Iode I31

Ca 45

Irradiation interne due a l'exposition au sodium 24.

l'iode I31 et calcium 45

Pour le calcium 45 la limite sera atteinte après 1000 jours, pendant la première année, la concentration maximale admissible bien qu'existant dans l'air, n'aura entraîné pour l'individu qu'une irradiation inférieure à la dose maximale admissible.

Utilisation des tableaux de la concentration maximale admissible dans l'air.

La C.I.P.R., ainsi que les pays de l'Euratom ont donné des tableaux pour 250 radio-éléments indiquant les concentrations maximales admissibles pour un travailleur exposé à raison de 168 heures par semaine.

La valeur trouvée, qui sert de référence doit être divisée par trois lorsqu'il s'agit de travailleurs exposés travaillant 48 heures par semaine.

Dans le cas des zones surveillées qui entourent les établissements on est dix fois plus sévère.

Telles sont les normes fondamentales qui constituent l'essentiel de la réglementation en matière de protection contre les radiations.

SURVEILLANCE MEDICALE

Il est nécessaire de procéder à une sélection stricte du personnel. Le contrôle médical doit commencer dès l'embauche et il sera poursuivi pendant le séjour du sujet exposé à des radiations ionisantes.

1 - Examens d'embauche

Sur quels critères peut-on se baser pour déterminer l'aptitude du travailleur ?

Il n'y a pas de critères légaux. Les seules dispositions existant actuellement dans la législation sont des recommandations.

Il existe cependant une codification en cours d'élaboration au ministère du travail.

Lors de cet examen il faut insister sur les antécédents pathologiques et professionnels.

Il serait souhaitable que les travailleurs possèdent un carnet d'irradiation, mais ils y sont opposés car ils craignent que ce carnet entraîne pour eux le risque de se voir opposé un refus d'embauche.

Il convient de faire un certain nombre d'examens systématiques :

- examen clinique
- cliché thoracique
- numération formule sanguine, étude de la crase sanguine
- urée sanguine, sucre et albumine dans les urines.

De plus, on peut, et ceci est laissé au libre choix du médecin exiger tous les examens complémentaires jugés utiles.

Du point de vue sanguin, on admet comme normal un nombre de globules rouges compris entre 4.000.000 et 5.000.000 pour l'homme.

Pour les globules blancs les nombres reconnus comme normaux sont entre 4.500 et 10.000 leucocytes.

Le taux de polynucléaires neutrophiles doit être compris entre 50 et 70 %.

Du point de vue crase sanguine, le temps de saignement , de coagulation doivent être normaux.

Il convient d'exiger une intégrité fonctionnelle rénale, parce que le rein joue un rôle important comme voie d'élimination des radio toxiques.

On attache une grande importance à l'intégrité du parenchyme pulmonaire en raison des risques d'inhalation.

Comme il peut se poser des problèmes fréquents de contamination externe l'intégrité de la peau est importante.

Pour les sujets exposés aux rayons X et γ une étude du cristallin est à faire.

Il existe donc un ensemble de conceptions qui éliminent à l'embauche de nombreux candidats.

II - Surveillance médicale systématique

Certains centres de recherche disposent d'une surveillance complexe adaptée à chaque travailleur au moyen de fiches de nuisances, comme c'est le cas au Centre de Saclay.

La fiche porte la date à laquelle est établie le nom de la personne. Elle possède des cases, dans chacune de ces cases sont indiquées des nuisances, en face figurent des lettres : A, E, B, C indiquant l'importance de l'exposition.

- E exposition très importante
- A exposition permanente
- B exposition de 50 % du temps passé
- C exposition occasionnelle

On connaît donc grâce à cette fiche toutes les nuisances auxquelles un sujet est exposé.

E	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	No d'Identité : 1	
E	A	Bruit et ultra sons vibrations et trépidations (souligner la notion utile)	20 . 01	20 . 02							No du Service : 02.	
E	A	Ondes courtes IR-U.V	20 . 03	20 . 04							30 Poussières radioactives et gaz radioactifs	
B	C	Microscope-Électricité (souligner la notion utile)	20 . 05	20 . 06							25 . 00	
E	A	Froid - Chaleur - Humidité	20 . 07	20 . 08							31 Uranium métal	
B	C	Air comprimé (souligner la notion utile)	20 . 09	20 . 10							25 . 21	
E	A	Soudure à l'arc	20 . 11	20 . 12							32 Uranium métal irradié	
B	C	Soudure autogène	20 . 13	20 . 14							25 . 22	
E	A	Soufflage de verre	20 . 15	20 . 16							33 Oxyde d'Uranium	
B	C	Soufflage de silice (souligner la notion utile)	20 . 17	20 . 18							25 . 23	
E	A	Peintures celluloseuses	20 . 19	20 . 20							34 Uranium 233	
B	C	Ciments	20 . 21	20 . 22							25 . 40 Uranium enrichi (Souligner la notion utile)	
E	A	Mercurie et composés	20 . 23	20 . 24							25 . 42	
B	C	Vapeurs de mercure	20 . 25	20 . 26							35 Autres composés (sauf-UF6. Uranium case 12)	
E	A	Plomb et composés	20 . 27	20 . 28							36 Plutonium	
B	C	Plomb Tétrathyle	20 . 29	20 . 30							25 . 50	
E	A	Ni - Ni (CO) ⁴	20 . 31	20 . 32							37 Thorium (sous quelle forme)	
B	C	(souligner la notion utile)	20 . 33	20 . 34							38 Carbone 14	
E	A	Fluor et dérivés lesquels? (cf-note 1 au verso)	20 . 35	20 . 36							26 . 00	
B	C	Autres métaux ou métalloïdes lesquels? (cf-note 2 au verso)	20 . 37	20 . 38							39 Phosphore 32	
E	A	Acides - Alcalins Gaz caustiques lesquels? (cf-note 3 au verso)	20 . 39	20 . 40							26 . 04	
B	C		20 . 41	20 . 42							40 Radium	
E	A		20 . 43	20 . 44							26 . 10	
B	C		20 . 45	20 . 46							41 Soufre 35	
E	A		20 . 47	20 . 48							26 . 23	
B	C		20 . 49	20 . 50							42 Iode 131	
E	A		20 . 51	20 . 52							26 . 25	
B	C		20 . 53	20 . 54							43 Strontium	
E	A		20 . 55	20 . 56							26 . 30	
B	C		20 . 57	20 . 58							44 Produits de fission (préciser si possible)	
E	A		20 . 59	20 . 60							26 . 40	
B	C		20 . 61	20 . 62							45 Autres Radioéléments Lesquels?	
E	A		20 . 63	20 . 64							26 . 40	
B	C		20 . 65	20 . 66							46 Rayonnement X	
E	A		20 . 67	20 . 68							25 . 10	
B	C		20 . 69	20 . 70							47 Rayonnement γ	
E	A		20 . 71	20 . 72							25 . 11	
B	C		20 . 73	20 . 74							48 Rayonnement β	
E	A		20 . 75	20 . 76							25 . 12	
B	C		20 . 77	20 . 78							49 Rayonnement α	
E	A		20 . 79	20 . 80							25 . 13	
B	C		20 . 81	20 . 82							50 Neutrons lents	
E	A		20 . 83	20 . 84							25 . 14	
B	C		20 . 85	20 . 86							51 Neutrons rapides	
E	A		20 . 87	20 . 88							25 . 15	
B	C		20 . 89	20 . 90							52 DIVERS	
E	A		20 . 91	20 . 92							25 . 16	
B	C		20 . 93	20 . 94							53	
E	A		20 . 95	20 . 96							54	
B	C		20 . 97	20 . 98							55	
E	A		20 . 99	20 . 100							56	
B	C		20 . 101	20 . 102							57	
E	A		20 . 103	20 . 104							58	
B	C		20 . 105	20 . 106							59	
E	A		20 . 107	20 . 108							60	
B	C		20 . 109	20 . 110							61	
E	A		20 . 111	20 . 112							62	
B	C		20 . 113	20 . 114							63	
E	A		20 . 115	20 . 116							64	
B	C		20 . 117	20 . 118							65	
E	A		20 . 119	20 . 120							66	
B	C		20 . 121	20 . 122							67	
E	A		20 . 123	20 . 124							68	
B	C		20 . 125	20 . 126							69	
E	A		20 . 127	20 . 128							70	
B	C		20 . 129	20 . 130							71	
E	A		20 . 131	20 . 132							72	
B	C		20 . 133	20 . 134							73	
E	A		20 . 135	20 . 136							74	
B	C		20 . 137	20 . 138							75	
E	A		20 . 139	20 . 140							76	
B	C		20 . 141	20 . 142							77	
E	A		20 . 143	20 . 144							78	
B	C		20 . 145	20 . 146							79	
E	A		20 . 147	20 . 148							80	
B	C		20 . 149	20 . 150							81	
E	A		20 . 151	20 . 152							82	
B	C		20 . 153	20 . 154							83	
E	A		20 . 155	20 . 156							84	
B	C		20 . 157	20 . 158							85	
E	A		20 . 159	20 . 160							86	
B	C		20 . 161	20 . 162							87	
E	A		20 . 163	20 . 164							88	
B	C		20 . 165	20 . 166							89	
E	A		20 . 167	20 . 168							90	
B	C		20 . 169	20 . 170							91	
E	A		20 . 171	20 . 172							92	
B	C		20 . 173	20 . 174							93	
E	A		20 . 175	20 . 176							94	
B	C		20 . 177	20 . 178							95	
E	A		20 . 179	20 . 180							96	
B	C		20 . 181	20 . 182							97	
E	A		20 . 183	20 . 184							98	
B	C		20 . 185	20 . 186							99	
E	A		20 . 187	20 . 188							100	
B	C		20 . 189	20 . 190							101	
E	A		20 . 191	20 . 192							102	
B	C		20 . 193	20 . 194							103	
E	A		20 . 195	20 . 196							104	
B	C		20 . 197	20 . 198							105	
E	A		20 . 199	20 . 200							106	
B	C		20 . 201	20 . 202							107	
E	A		20 . 203	20 . 204							108	
B	C		20 . 205	20 . 206							109	
E	A		20 . 207	20 . 208							110	
B	C		20 . 209	20 . 210							111	
E	A		20 . 211	20 . 212							112	
B	C		20 . 213	20 . 214							113	
E	A		20 . 215	20 . 216							114	
B	C		20 . 217	20 . 218							115	
E	A		20 . 219	20 . 220							116	
B	C		20 . 221	20 . 222							117	
E	A		20 . 223	20 . 224							118	
B	C		20 . 225	20 . 226							119	
E	A		20 . 227	20 . 228							120	
B	C		20 . 229	20 . 230							121	
E	A		20 . 231	20 . 232							122	
B	C		20 . 233	20 . 234							123	
E	A		20 . 235	20 . 236							124	
B	C		20 . 237	20 . 238							125	
E	A		20 . 239	20 . 240							126	
B	C		20 . 241	20 . 242							127	
E	A		20 . 243	20 . 244							128	
B	C		20 . 245	20 . 246							129	
E	A		20 . 247	20 . 248							130	
B	C		20 . 249	20 . 250							131	
E	A		20 . 251	20 . 252							132	
B	C		20 . 253	20 . 254							133	
E	A		20 . 255	20 . 256							134	
B	C		20 . 257	20 . 258							135	
E	A		20 . 259	20 . 260							136	
B	C		20 . 261	20 . 262							137	
E	A		20 . 263	20 . 264							138	
B	C		20 . 265	20 . 266							139	
E	A		20 . 267	20 . 268							140	
B	C		20 . 269	20 . 270							141	
E	A		20 . 271	20 . 272							142	
B	C		20 . 273	20 . 274							143	
E	A		20 . 275	20 . 276							144	
B	C		20 . 277	20 . 278							145	
E	A		20 . 279	20 . 280							146	
B	C		20 . 281	20 . 282							147	
E	A		20 . 283	20 . 284							148	
B	C		20 . 285	20 . 286							149	
E	A		20 . 287	20 . 288							150	
B	C		20 . 289	20 . 290							151	
E	A		20 . 291	20 . 292							152	
B	C		20 . 293	20 . 294							153	
E	A		20 . 295	20 . 296							154	
B	C		20 . 297	20 . 298							155	
E	A		20 . 299	20 . 300							156	
B	C		20 . 301	20 . 302							157	
E	A		20 . 303	20 . 304							158	
B	C		20 . 305	20 . 306							159	
E	A		20 . 307	20 . 308							160	
B	C		20 . 309	20 . 310							161	
E	A		20 . 311	20 . 312							162	
B	C		20 . 313	20 . 314							163	
E	A		20 . 315	20 . 316							164	
B	C		20 . 317	20 . 318							165	
E	A		20 . 319	20 . 320							166	
B	C		20 . 321	20 . 322							167	
E	A		20 . 323	20 . 324							168	
B	C		20 . 325	20 . 326							169	
E	A		20 . 327	20 . 328							170	
B	C		20 . 329	20 . 330							171	
E	A		20 . 331	20 . 332							172	
B	C		20 . 333	20 . 334							173	
E	A		20 . 335	20 . 336							174	
B	C		20 . 337	20 . 338							175	
E	A		20 . 339	20 . 340							176	
B	C		20 . 341	20 . 342							177	
E	A		20 . 343	20 . 344								

A partir de cette fiche il reste à établir par le service médical un rythme de surveillance grâce à un fichier de rythme.

Les fiches de rythme portent un numéro qui correspond à celui de la case de la fiche de nuisance et l'indication du rythme de surveillance pour chaque catégorie A, B, C, E.

	36	A		16	B
3		ORL			ORL 6
		Spiro 4			4 spiro
		<u>Plutonium 36</u>			
Abb		1		Abb	3
UR		6		UR	6
NG		1			NG 3

Fiche de rythme de surveillance médicale pour
exposition au plutonium en catégorie A ou B

Ainsi si un sujet est exposé au plutonium s'il appartient à la catégorie A, il doit subir une numération formule sanguine tous les mois.

Il existe également un contrôle mensuel de l'albumine et nous voyons qu'il doit subir un examen O.R.L. tous les trois mois.

Tel est donc le mécanisme délicat qui préside à l'établissement des rythmes de surveillance.

Pour le rythme des examens, il existe de nombreuses divergences d'une équipe à l'autre et d'un pays à l'autre.

Cette méthode de surveillance complexe permet cependant d'assurer une surveillance correcte.

La surveillance médicale est complétée par un contrôle dosimétrique individuel.

Cela a conduit à l'introduction de fiches d'irradiation, d'une par les fiches d'irradiation bisannuelles, d'autre part professionnelles; on peut, de ce fait, d'un coup d'oeil, voir l'état du sujet en ce qui concerne l'irradiation.

Il en résulte qu'en matière de surveillance et de protection, le service de santé doit travailler en étroite liaison avec les physiciens. De cette surveillance résultent trois sanctions possibles :

Le travailleur déclaré apte continue son travail en zone active, déclaré en observation médicale, on le surveille plus étroitement, ou bien enfin il est déclaré inapte.

L'inaptitude peut être temporaire ou définitive.

III - Surveillance en cas d'accident :

Cette surveillance doit intervenir dans deux éventualités :

- en cas d'irradiation,
- soit en cas de contamination.

a - Surveillance en cas d'irradiation :

La surveillance est différente suivant que l'irradiation est due à un rayonnement β , X ou γ , d'autre part elle doit être fonction de la dose d'irradiation.

Pour apprécier cette dose nous disposons des éléments donnés par la dosimétrie individuelle et collective. Il faut également connaître la localisation de l'irradiation.

Le médecin doit donc tenir compte de l'ensemble de ces facteurs pour mettre en oeuvre la surveillance et poser l'indication thérapeutique.

Il faut reconnaître, que lors d'un grand nombre d'accidents, ces mesures ne sont pas faites avec précision. On est donc obligé avant de passer à la thérapeutique, souvent de préjuger de l'irradiation subie en fonction de la symptomatologie clinique.

Les signes cliniques qui offrent un intérêt sont les suivants :

- signes cutanés,
- signes hématologiques (leucocytoses dans les premiers jours)
- signes biochimiques (augmentation de l'élimination des acides aminés dans les urines).

Grâce à tous ces signes, il est possible d'estimer dans des délais suffisants qu'elle est la dose subie par un individu car, il faut bien retenir que les indications thérapeutiques pour un irradié, n'offrent pas un caractère d'urgence.

Cela dit , que doit-on faire dans le cas d'irradié total.

Envisageons le cas d'une personne ayant subi une irradiation de 500 rems (dose léthale 50 % pour l'homme).

Au début dans les 48 premières heures la thérapeutique a pour but de faire face au déséquilibre neuro-végétatif, ensuite on met en oeuvre deux thérapeutiques importantes, l'une anti-infectieuse, l'autre vise le syndrome hémato-logique.

Il convient d'insister sur la nécessité de mettre le sujet en état d'isolement aseptique complet et d'éviter d'utiliser les antibiotiques qui s'opposent à la reproduction des êtres vivants.

Au point de vue hématologique les transfusions de concentrés n'arrivent pas, même à dose massive, à maintenir l'organisme à un niveau convenable. On envisage donc un traitement par transplantation de tissus.

Il faut obtenir une transplantation dont la survie est temporaire car en cas de survie définitive il se produit la maladie immunologique secondaire. Ceci nous amène à voir la complexité de ce problème thérapeutique.

D'après les statistiques de l'O.I.T. il semble que si le sujet a reçu une dose comprise entre 400 et 800 rems il faut faire une transplantation.

b - Surveillance exceptionnelle en cas de contamination :

Tout travailleur qui présente une contamination externe doit être contrôlé afin de détecter une contamination interne associée.

Pour contrôler les contaminations internes il existe des méthodes indirectes et des méthodes directes.

Méthodes directes (cours de l'O.I.T. , volume II)

Le grand domaine de l'utilisation des méthodes directes est la mesure des émetteurs gamma et beta.

Le principe de ces mesures n'est pas récent, en 1937 EVANS a utilisé des compteurs Geiger, et l'on peut dire qu'il a posé les bases mêmes des techniques des mesures actuelles. Les appareils modernes sont à scintillateur liquide. L'appareil est constitué d'un tunnel dans lequel on place la personne, ce tunnel est entouré d'un manchon de scintillateur liquide, autour de ce dernier, sont disposés des photo-multiplicateurs. L'impulsion lumineuse est transformée en impulsion électrique qui est analysée par l'appareillage électronique.

Ce système a l'avantage de fournir très rapidement des informations. Il permet de faire des mesures de potassium 40 en quelques minutes à quelques pour cents de précision.

Méthodes indirectes (cours de l'OIT volume II).

Contrôle des voies d'introduction.

Pour vérifier la contamination par voie respiratoire dans une atmosphère radioactive, on fait des prélèvements nasaux.

Lorsque les prélèvements arrivent au laboratoire , le papier est passé sous un compteur. La technique est applicable aux rayonnements α , β , et gamma.

Contrôle des voies d'excrétion :

Il est possible de contrôler les voies d'excrétion, lorsque le métabolisme d'un élément est connu. On estime la quantité fixée dans l'organisme en mesurant la quantité excrétée en un temps donné.

Le matériel le plus fréquent sur lequel portent les analyses est constitué par les urines. En considérant les techniques dans leur ensemble, on distingue deux stades, tout d'abord le stade de préparation de l'échantillon, puis le stade de mesure.

Dans la préparation de l'échantillon, en général on emploie une minéralisation. La concentration des éléments recherchés est réalisée par évaporation de l'eau.

La mesure peut se faire soit par colorimétrie ou fluorimétrie ou soit par comptage avec détecteur , , .

CONCLUSION :

Les deux techniques directes ou indirectes permettent de mesurer une contamination interne. De plus dans différents cas de contamination par plutonium ou strontium, on s'est aperçu qu'une expression mathématique relatait les phénomènes de contamination existant pour l'ensemble de l'organisme.

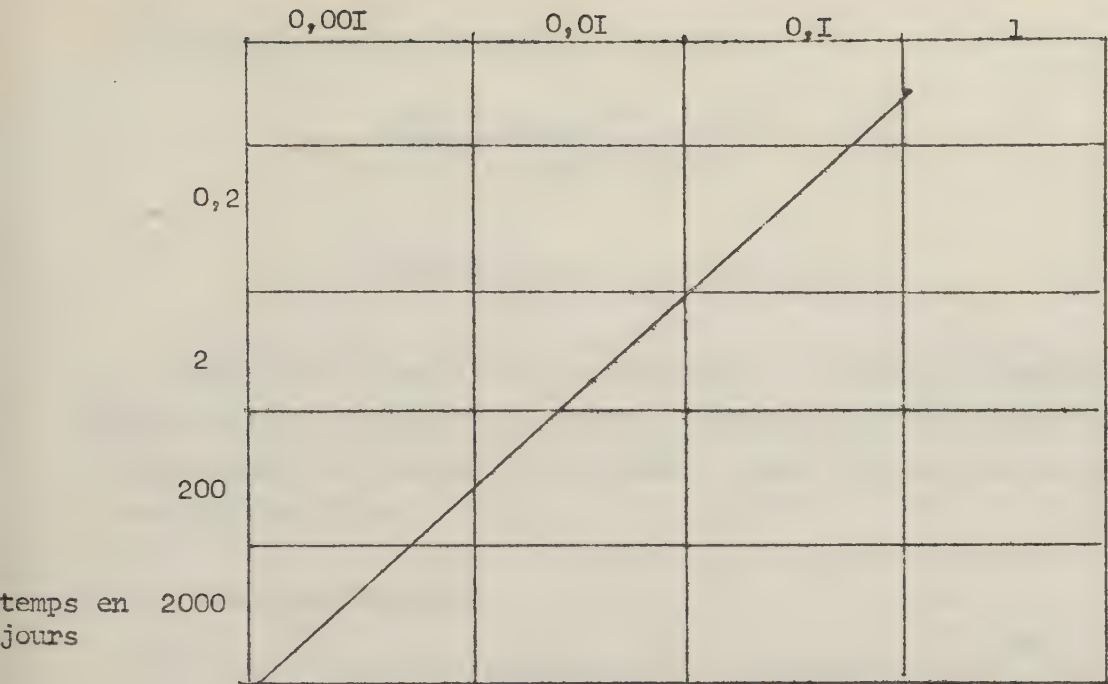
$$R(t) = A t^{-n}$$

$R(t)$ est la rétention

A constante égale à la fraction de dose assimilée lorsque $t = 1$

$n =$ à la pente de la droite obtenue en coordonnées logarithmiques

(voir courbe ci-après)



(Rétention du strontium dans l'organisme en fonction du temps, cours de l'OIT, volume II)

Le taux d'excrétion correspond à la différentiel de la rétention.

$$d \frac{R(t)}{dt} = -A_n^{-(n+1)} = -\frac{n R(t)}{t}$$

Il faut tenir compte de la croissance radio-active en plus de l'élimination biologique.

En appelant λ la constante radioactive de l'élément, le taux réel d'excrétion $Y(t)$ sera :

$$Y(t) = -\frac{d R(t)}{dt} = -\lambda R(t)$$

Excrétion E à l'instant t est égale au produit de la quantité absorbée $q(0)$ à l'instant initial multiplié par $Y(t)$

$$E(t) = q_0 Y(t)$$

Quantité absorbée à l'instant initial :

$$q_0 = \frac{E(t) t (n+1)}{n A e^{-\lambda r (t-1)}}$$

$E(t)$ valeur mesurée dans le dosage.

Lorsqu'une contamination est détectée au cours d'un examen, sans qu'il soit possible de fixer la date avec certitude, on fait une estimation en recommençant les examens à intervalles connus. On calcule le rapport des quantités excrétées.

L'équation devient :

$$q(0) = \frac{E(t_1)}{n A e^{-\lambda r (t-1)}} \left[\frac{t}{E(t_1)^{1(n+1)}} \right]^{n+1} E(t_2)^{-1}$$

Le temps a disparu, il suffit de connaître l'intervalle de temps t qui a séparé les mesures $E(t_1)$ et $E(t_2)$

Si la courbe d'élimination expérimentale est connue il est possible de calculer la quantité initiale absorbée et de déduire l'irradiation pendant une période de temps donné.

$$D(t) = q(0) K f(R) \quad (\text{cours de l'O.I.T., volume II})$$

$D(t)$ dose reçue en 1 jour

K facteur tenant compte de l'énergie effective du rayonnement

$f(R)$ est la fonction de rétention appropriée intégrée sur la période de temps donné considéré.

L'ensemble de ces examens doit être exécuté très rapidement. Les décisions thérapeutiques sont dictées par ces renseignements obtenus.

SURVEILLANCE TECHNIQUE

Une fois déterminés les dangers que font courir les radiations ionisantes, il convient de mettre en oeuvre des moyens de protection et des moyens de surveillance adaptés aux différentes circonstances.

Les moyens de protection visent à établir les conditions qui permettent de respecter les normes que nous avons vu, les moyens de surveillance en contrôlent l'efficacité.

Cette surveillance technique doit s'appliquer dans les zones dans lesquelles on travaille de façon régulière sous radiations, pour lesquelles les normes professionnelles ont été établies par l'O.I.T., et dans les zones surveillées dans lesquelles les risques, bien que très inférieurs à ceux des zones contrôlées, sont cependant plus importants que ceux qui concernent l'ensemble de la population.

Cette surveillance technique repose essentiellement sur le contrôle de l'irradiation et des sources de radiations ionisantes.

CONTROLE DE L'IRRADIATION

A - SURVEILLANCE DE L'IRRADIATION EXTERNE

Cette surveillance repose sur l'utilisation de détecteurs individuels.

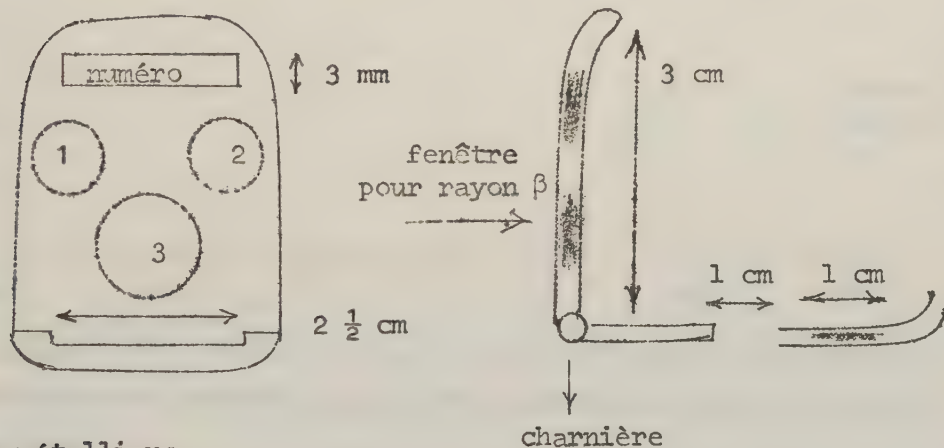
Pour être d'une valeur réelle, tout appareil de contrôle du personnel doit comprendre un système d'enregistrement adéquat. La dose totale intégrée doit pouvoir être vérifiée instantanément. Le système doit être capable d'enregistrer tous les types de radiations X, gamma, beta ou neutrons.

Les appareils les plus utilisés sont les films-dosimètres et les électromètres à fiches de quartz.

Films dosimètres :

Quand les radiations ont une énergie suffisante pour impressionner un film photographique, l'effet est le noircissement de ce film. Le film est formé par un support en acétate de cellulose sur les deux faces duquel a été déposée une couche d'une émulsion de bromure d'argent.

Les émulsions sont en relation avec l'énergie incidente.



- 1 - filtre métallique
- 2 - "
- 3 - fenetre béta

Film dosimètre pour la protection individuelle
(EIT. Manuel de protection contre les radiations
dans l'industrie, partie III)

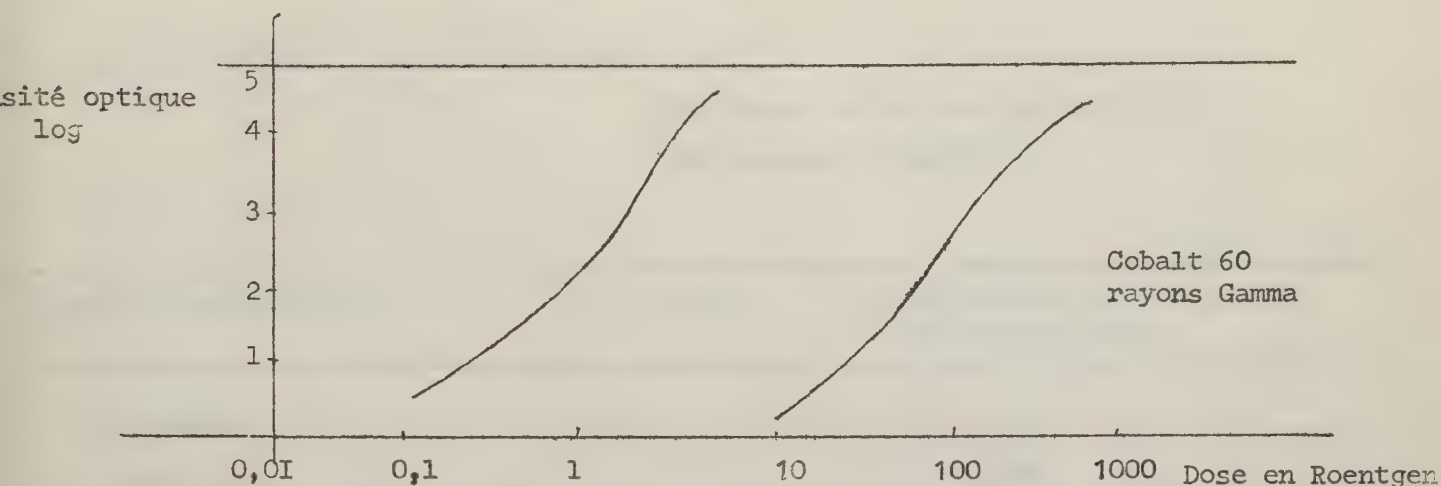
Les effets des filtres placés de chaque côté du film, modifient sa réponse en provoquant une absorption préférentielle des radiations de basse énergie et une augmentation des effets des hautes énergies par émission secondaire d'électrons.

Sensibilités aux rayons X et gamma.

Avec une épaisseur de 0,076 cm de plomb la réponse du film aux radiations gamma de 0,15 à 2 Mev est uniforme à 10 % près.

La figure illustre la réponse de l'émulsion aux différentes doses de rayonnements.

Les courbes sont valables pour les nouveaux films Kodak à double émulsion : émulsion lente et rapide.



Pour la mesure des hautes doses, on enlève l'émulsion à l'aide d'un solvant, l'estimation est faite en se basant sur la densité optique de l'émulsion lente.

Sensibilité au rayonnement beta :

La détection des radiations beta est simple pour l'émetteur beta pur. Quand la radiation beta est mélangée avec des rayons X on utilise pour le film test la fenêtre beta.

La méthode est basée sur la différence de densité entre les zones filtrées et la zone non filtrée. Cette différence est due aux radiations beta.

Sensibilité aux neutrons :

Il existe une méthode de mesure simple des neutrons thermiques. On utilise un filtre de cadmium qui émet un photon gamma dur par la capture d'un neutron et on enregistre sur le film la production des électrons secondaires dans le cadmium.

En raison des difficultés pour mesurer la dose des neutrons, on exprime celle-ci en flux (Neutrons/cm²/seconde). Un tableau est publié dans le Los Alamos Handbook of radiation monitoring (LA 1835 USA EC) qui donne le flux des neutrons nécessaires pour obtenir un E B R de 7,5 millirems par heure avec un total de 0,3 millirems par semaine de 40 heures.

LA 18 35 USAEC , extrait donné par l'O.I.T.

BIT Manuel de protection contre les radiations, partie III

Energie des neutrons	E B R	Flux donnant 0,3 rem en 40 heures n/cm ² /s
<u>Thermique</u>		
100 ev	3	2.000
5 kev	2	1.550
20 kev	2,5	1.700
0,1 Mev	5	850
0,5 Mev	8	250
1 Mev	10	90
2,5 Mev	10,5	55
5 Mev	8	60
7,5 Mev	7	55
10 Mev		50

Sensibilité aux rayons alpha :

Ces films ne sont pas utilisés dans la détection alpha.

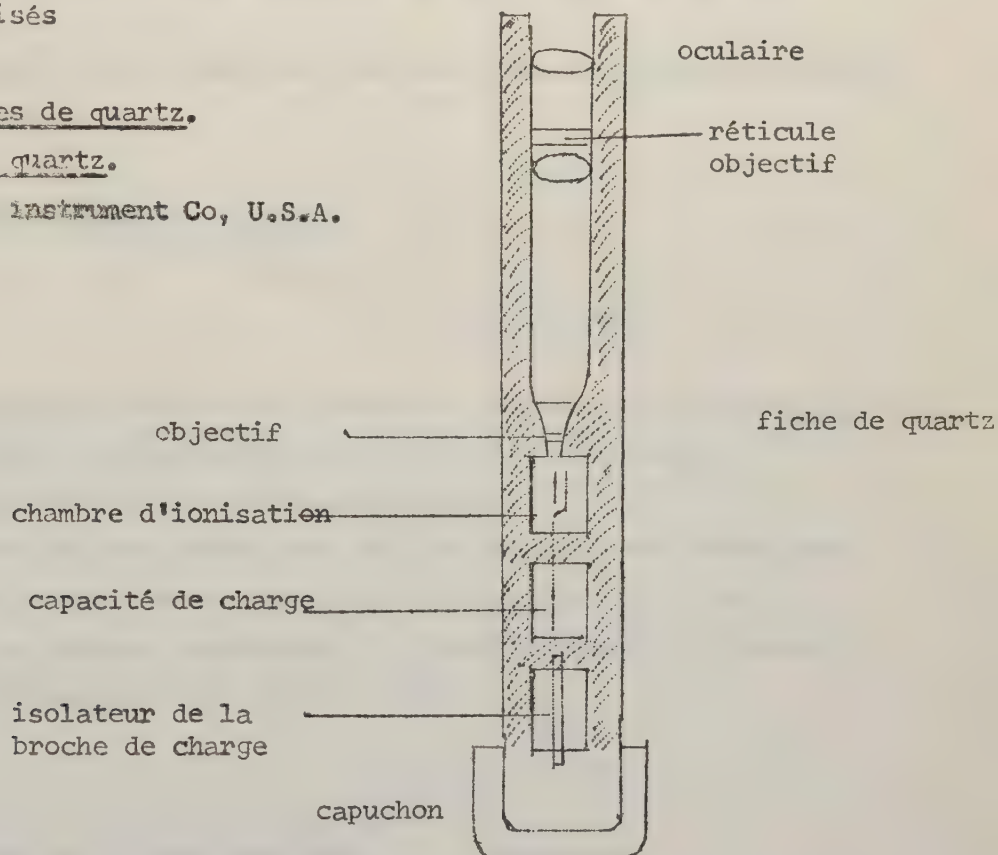
Ce n'est pas un grand inconvénient car les radiations alpha externes n'ont d'importance que pour les grandes contaminations de la peau (blessures). Nous avons vu que le travail de laboratoire est le seul moyen de contrôle efficace.

En résumé, les films dosimètres possèdent de grands mérites et sont universellement utilisés

Electromètres à fibres de quartz.

Dosimètre à fibre de quartz.

Modèle 362 Victoreen Instrument Co, U.S.A.



Ces appareils ressemblent à des stylos d'aluminium, ils sont utiles lors des opérations inaccoutumées. Ils possèdent des chambres d'ionisation à lecture directe comportant un électromètre indiquant la charge de l'électrode centrale.

La déviation de la fibre de quartz est observée dans un microscope à travers un réticule gradué en Roentgen.

Les deux capacités utilisés sont de 0 à 500 milli r.
de 5 à 100 milli r.

La sensibilité est valable pour des énergies de 0,3 à 3 Mev.

Les électromètres à fibres de quartz sont utilisables seulement pour la mesure des radiations X et gamma.

Autres détecteurs individuels :

Plusieurs autres appareils sont fabriqués. Pour la mesure des radiations sur le plan individuel on trouve :

1 - Les dosimètres à verre phosphate; utilisés pour la mesure des fortes activités de rayon gamma.

2 - Des détecteurs personnels sonores.

En résumé :

Parmi les différents détecteurs individuels de radiations externes, le film test semble être le plus recommandable pour les besoins courants.

Les films permettent un enregistrement permanent.

Les résultats sont reproductibles avec de simples procédés techniques.

Les doses reçues peuvent rester confidentielles si on le désire.

Les prix des films restent importants. Le renouvellement et l'examen de tous les films reviennent à 5,00 NF par film.

DETECTION DE LA CONTAMINATION RADIO-ACTIVE

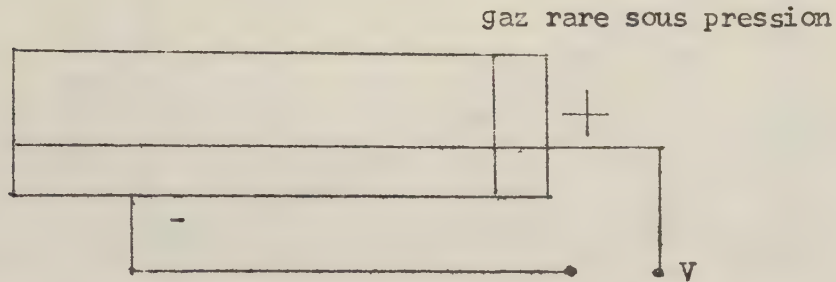
1 - APPAREILS DE MESURE

a - Compteurs proportionnels et de Geiger-Müller

Description :

Le principe en est encore l'ionisation des gaz par les particules ionisantes. L'appareil est constitué par un cylindre conducteur d'une dizaine de cm de long et d'un diamètre de 1 cm.

Dans l'axe est tendu un fil métallique dont le diamètre est de $1/10$ mm. Le gaz de remplissage sous une pression de 10 cm de Hg est un gaz rare.



Le gaz est choisi de façon que l'ionisation ne produise jamais d'ions négatifs lourds (Argon + néon). Il se forme toujours un électron et un ion positif lourd. L'électron se dirige vers le fil, l'ion positif lourd se dirige vers la coque avec une vitesse 1000 fois plus faible que la vitesse de l'électron.

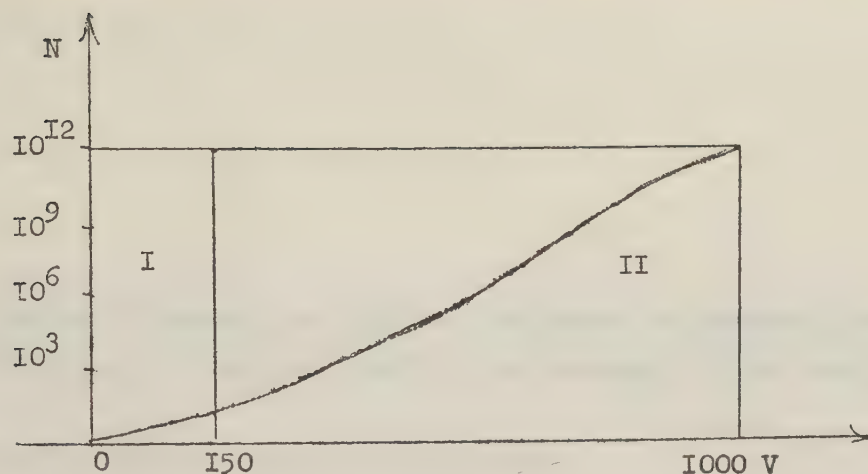
Suivant que la tension V appliquée est plus ou moins grande, le phénomène d'ionisation est différent. Si V est de l'ordre de 10 v l'électron se dirige vers le fil et tombe dessus.

Autant d'électrons tombent sur le fil que de paires d'ions ont été initialement produites. C'est le régime d'ionisation simple. Le coefficient de multiplication est égal à 1.

Si V est de l'ordre de 200, 500 V l'électron avant d'atteindre le fil acquiert une énergie suffisante pour ioniser le gaz.

Au lieu d'un électron, c'est 10, 20, 50 qui atteindront le fil, c'est le régime proportionnel.

Le coefficient de multiplication croît rapidement avec la tension.

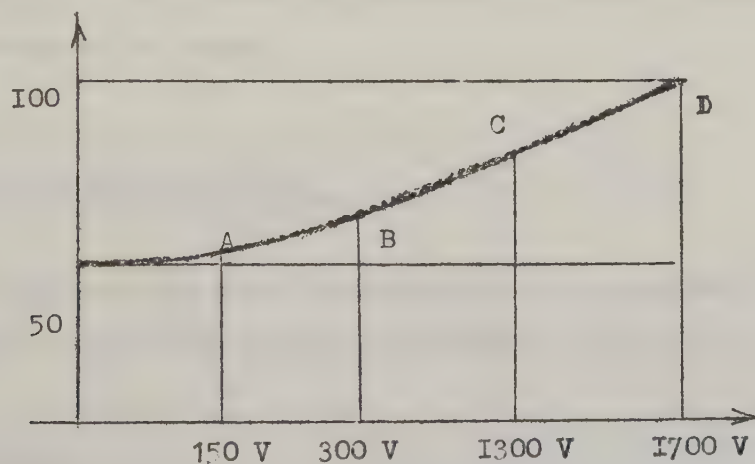


Coefficient de multiplication d'un tube Geiger-Muller en fonction de la tension appliquée (cours de l'OIT, volume I)

Les deux applications de cet appareil sont les suivantes :

I - Mise en évidence des rayons α , en présence de β et de γ .

En face d'une source donnée émettant des α et β , l'étude du taux de comptage N (nombre de particules comptées en 1 seconde) permet d'établir la courbe suivante donnée par l'OIT (cours, volume I).



Dans la région AB : le compteur fonctionne en régime proportionnel, ne compte que les rayons α .

Dans la région BC, le compteur fonctionne en régime proportionnel mais commence à compter les β .

Remarque :

Pour une tension dépassant 1300 volts l'avalanche de Townsend s'est amplifiée et nombre d'électrons sont devenus capables de provoquer à leur tour des avalanches

On compte 100 à 200 avalanches par cm de film.

Le phénomène se passe en une durée de l'ordre de 10^{-11} seconde, le nombre d'électrons qui passent sur le fil, passent à 10^{-12} , chaque particule, quel que soit le nombre d'ions qu'elle crée donne la même impulsion correspondant au phénomène d'avalanche généralisée le long du film, le compteur fonctionne en régime Geiger.

Dans la zone CD le taux de comptage est indépendant de la tension. Il faut couper la tension pour rendre de nouveau le compteur capable de compter. Tel est le fonctionnement de cet appareil largement utilisé en matière de protection.

Les appareils de Geiger-Muller permettent d'obtenir une sensibilité de 0,05 mille roentgen par heure.

b - Compteurs à scintillation

Dans ce chapitre, les principaux détails des compteurs à sensibilisation seront étudiés en fonction du type de radiation à détecter.

Compteurs alpha :

Ces détecteurs utilisent un écran de sulfure de zinc identique à celui utilisé par RUTHERFORD dans ses travaux. Les éclairs lumineux sont détectés par un tube photomultiplicateur.

La matière phosphorescente est étalée en forme d'écran mince protégée de la lumière par une mince fenêtre d'aluminium transparente aux rayons alpha.

Compteurs bêta :

Beaucoup de substances phosphorescentes sont sensibles aux rayons beta, à la seule condition qu'une fenêtre mince permette la pénétration des rayons beta dans le scintillateur , pour cet emploi, un cristal d'anthracène est utilisé.

Compteurs gamma :

Les rayons gamma sont détectés dans des scintillateurs solides. Le cristal le plus utilisé est l'iodure de sodium, qui étant déliquescent, doit être protégé par une capsule étanche.

Ces instruments sont largement utilisés pour la détection des contaminations radioactives au niveau des surfaces.

Ces appareils donnent une sensibilité de 10 micro-Roentgen par heure. Ils ont une réponse maximum pour les rayons gamma de de basse énergie.

Le tableau de l'OIT suivant compare la performance de ce détecteur avec un geiger muller et une chambre d'ionisation.

Comparaison entre une chambre d'ionisation à parois Air - équivalentes, un compteur Geiger-Muller et un compteur à scintillation.

(voir tableau ci-après)

Energie gamma Mev	Dose indiquée à 1 milli-roentgen en chambre d'ionisation	
	Scintillation type I4I3A milliR/heure	Geiger-Muller type I368 A milli R/h
1,25	0,6	1,15
0,84	0,96	1,00
0,662	1,39	0,92
0,411	2,65	0,82
0,280	7,5	1,29
0,145 .	14,1	2,4
0,06	9,8	6,0

Nous voyons que la sensibilité des compteurs à scintillation tombe d'une façon régulière pour les hautes énergies mais les Geiger-Muller ont une légère augmentation.

Ces deux systèmes forment un système complémentaire d'une grande sensibilité sur une longue échelle d'énergie.

Il existe à l'heure actuelle un compteur à scintillation de grande efficacité, appelé Compteur Puits.

Le compteur Puits possède un cristal d'INA perforé d'un puits central dans lequel on met l'échantillon.

Le cristal est appliqué sur un photomultiplicateur habituel et le tout est entouré d'un blindage en plomb.

Cette méthode permet de mesurer surtout la radioactivité des liquides.

Détection des surfaces contaminées :

L'activité des surfaces contaminées peut se mesurer avec un groupe de compteurs portatifs muni d'une sonde alpha, beta et gamma. Pour les détecteurs alpha une sonde a scintillation est reliée au compteur ; l'appareil est allumé et après quelques minutes on note le mouvement propre.

Cette mesure est faite en un lieu où on est certain qu'il n'y a pas eu de contamination, avec une sonde non souillée. La sonde est ensuite passée lentement sur toute la surface à contrôler à une distance de 0,5 cm.

Il existe des tableaux qui permettent de déduire d'après le comptage le degré de contamination des surfaces contrôlées.

Le tableau suivant à titre d'exemple donne quelques doses en surface des objets inanimés.

Le comptage a été fait avec les dosimètres suivants :

sonde standard beta type B12

sonde standard alpha type IO2I B

compteur cloche beta type I335B

Surface contaminée	Contaminant	Concentration en $\mu\text{C/cm}^2$	Comptage (coup/s)	
			sonde standard	Sonde large pour alpha et compteur cloche pour les beta
larges surfaces	PU, RA, AC, PO	10^{-5}	0,3	
	autres α	10^{-4}	3,0	
	tous les β	10^{-4}	5,0	
surfaces	PU, RA, AC, PO	10^{-4}	3,0	-
	autres α	10^{-3}	30,0	-
	tous les β	10^{-3}	50,0	15,10
N'importe quelle surface	PU, RA, AC, PO	10^{-4}	3,0	30,0
	autres α	10^{-3}	30,0	300,0
	tous les β	10^{-3}	50,0	15,0

Détection des contamination de l'atmosphère :

Le contrôle de la radioactivité ambiante comprend un échantillonnage des poussières radioactives dans l'air.

On réalise l'opération en faisant passer une quantité d'air à travers un filtre disposé dans un appareil mesurant l'activité du filtre.

Le volume de l'échantillon d'air constitue un facteur important. Il faut échantillonner une quantité d'air suffisante pour avoir une quantité de matière radioactive qui dépasse le seuil de la sensibilité de l'appareil.

La radioactivité de l'air naturelle représente un autre facteur d'importance. Cette activité provient des produits de filtration du radon, dont la période la plus longue est de 27 mm dans le cas du radium B, et des produits de filiation du Thoron, parmi lesquels le THORIUM B a une période de 10,6 h. on tient compte de ces activités naturelles en mesurant l'activité sur le papier filtre deux fois de suite.

Une première fois, environ quatre heures après avoir prélevé l'échantillon, pour permettre la décroissance du Rab, une deuxième fois, vingt heures plus tard, pour déterminer la contribution du THB.

On calcule alors l'activité à longue période due à la contamination C_{LP} à partir de l'équation suivante :

$$C_{(LP)} = \frac{C_2 - C_1 \cdot e^{-0,065 \Delta t}}{1 - e^{-0,065 \Delta t}}$$

C_1 est le premier taux de comptage

C_2 le deuxième taux de comptage

t est la différence de temps exprimée en heures entre le premier et le deuxième comptage.

Cette méthode de mesure de la contamination (donnée par le BIT, partie III du Manuel de protection) radioactive de l'air est simple et s'emploie couramment pour le contrôle du milieu ambiant.

Détection de la contamination de l'eau.

L'eau réalise une source fréquente de contamination interne, aussi est-il intéressant de connaître sa radioactivité.

Le comptage des grands volumes est réalisé par l'immersion du détecteur dans le liquide. On utilise les compteurs Geiger-Muller et à scintillation. Pour des petits volumes on utilise des récipients à l'intérieur d'une couronne de Geiger-Muller.

II - CONTROLE DES SOURCES DE RADIATIONS

La surveillance des sources repose sur leur recensement et leur classification.

1 - Recensement des sources.

Il est impossible d'appliquer convenablement les normes si l'on ne dispose pas d'un recensement strict des sources.

Ce recensement se présente différemment selon l'organisation générale des pays, et en particulier selon leur régime économique.

En France, les substances radioactives relèvent d'un monopole d'Etat. L'énergie atomique contrôle un certain nombre de sources, les substances radioactives artificielles.

La législation applicable en cette matière est en cours de révision et sera amendée pour étendre le monopole à toutes les sources y compris les sources naturelles.

Ce système a fonctionné à la satisfaction générale, et il présente un aspect éminemment favorable du point de vue de la protection, puisqu'il permet de recenser toutes les sources de substances radio-actives artificielles.

En revanche, la situation est moins bonne en ce qui concerne les appareils générateurs de rayonnements, qui échappent à ce système.

N'importe qui peut acheter un appareil de rayons X et l'installer sans en référer à qui que ce soit sur le plan gouvernemental.

2 - Classification des sources.

Le classement des sources, et de façon plus générale, le classement des installations se révèlent nécessaires : dans le dessein de prévoir les méthodes ou les moyens de protection particuliers à mettre en oeuvre.

De façon générale, on considère les sources de radiations ionisantes qui, d'une part, présentent des risques d'irradiation externe, et d'autre part, celles qui comportent des risques de contamination (sources non scellées) .

Pour les sources scellées, on considère celles dites en enceinte et celles dites sans enceinte. Cette distinction , très importante, est indispensable pour le classement.

Une installation est réputée en enceinte lorsque la source de radiation et tous les objets qui sont exposés se trouvent dans une enceinte permanente dans laquelle nul ne peut pénétrer, ni demeurer pendant l'irradiation, et qui garantit une protection suffisante dans les conditions pratiques de service, pour toutes les personnes se trouvant hors de l'enceinte. Le réacteur nucléaire est une installation en enceinte s'il n'existe aucune possibilité d'utiliser un faisceau si ce n'est à l'intérieur d'une enceinte protectrice.

Il est bien évident que les installations sans enceinte ne peuvent offrir les mêmes garanties de sécurité que celles en enceinte. Les contrôles, les inspections doivent y être faits plus fréquemment.

Le principe de la protection dans l'opération en enceinte repose sur des écrans calculés. Ce principe évite entièrement l'intervention humaine.

Dans le cas des installations sans enceinte, la sécurité repose sur des consignes et sur la façon dont elles sont appliquées, ainsi que sur de bonnes habitudes de travail. Il est évident que le facteur humain revêt une importance primordiale.

Il est possible de classer par degrés les installations à l'intérieur des deux catégories précitées. Cette classification par degrés n'est pas normalisée, encore que des efforts soient faits dans ce sens.

Ces questions de classement sont parmi les plus difficiles en ce qui concerne la protection radiologique.

- III -

HISTORIQUE DE L'O.I.T.I - CREATION DE L'O.I.T.

Il semble que la première proposition tendant à faire débattre des questions du travail à l'échelon international doive être attribuée à l'industriel gallois Robert OWEN qui en 1818, s'adressant au Congrès de la Sainte Alliance, préconisait sans succès la création d'une "Commission du Travail".

En même temps, le sociologue Français Jérôme Adolphe BLANQUI soutient, que pour être viable, toute réforme sociale dans le domaine de l'industrie doit être adoptée simultanément par les nations qui peuvent se concurrencer.

Dans différents milieux, l'étude de la législation internationale du travail fait son chemin, mais il faut attendre les dernières années du siècle pour que les gouvernements lui donnent leur appui.

En 1901, l'Association créait à Bâle un office international du travail, financé par des subventions gouvernementales.

En 1905, le gouvernement suisse réunit à Bâle une conférence technique où des experts provenant d'une vingtaine de pays mettent au point des textes visant à réglementer l'emploi du phosphore blanc. Les premiers pas étaient faits.

En 1913, une conférence d'experts, convoquée à Berne adoptait des textes sur la limitation de la journée du travail des femmes. La guerre vint interrompre les activités de l'association.

Mais lors des rencontres syndicales internationales qui eurent lieu pendant la guerre, les chefs syndicalistes développèrent les idées qui s'étaient fait jour jusqu'en 1913.

En 1916, Léon JOUHAUX faisait approuver par la conférence ouvrière inter-alliée un rapport dans lequel il demandait instamment que le traité de paix établisse un organe international pour l'élaboration de la législation sociale. Lorsque la conférence de la Paix se réunit à Paris en 1919, la cause était entendue.

La conférence de la Paix constituait une commission de la législation internationale du travail.

La commission siégea pendant deux mois en prenant comme base de travaux un projet britannique. Son rapport comportant un projet de convention créant un organisme permanent pour la réglementation internationale du travail.

Le projet de convention devint la partie XIII du Traité de Versailles, quelle forme, quelles fonctions et quels moyens d'action les auteurs du Traité de Versailles donnaient-ils à la nouvelle institution.

La constitution disposait que l'organisation internationale de travail se composerait de trois organes: La conférence internationale du travail, assemblée générale des pays membres de l'OIT, et le bureau international du travail.

Elle prévoyait que la conférence internationale du travail adopterait des conventions, et que le bureau international centraliserait toutes informations concernant la réglementation internationale de la condition des travailleurs.

La première conférence internationale du travail se réunit en 1919 à Washington. Une large part du succès de la conférence revient à deux fonctionnaires britanniques, Harold BUTLER et Edward PHELAN. Le conseil d'administration procéda à l'élection du directeur du BIT, en faisant appel à Albert THOMAS, le conseil montrait sa volonté de donner à l'organisation un caractère militant. L'homme politique français, devenu fonctionnaire international se lança dans l'action au service de laquelle il mit sa vaste intelligence.

Albert THOMAS avait convaincu, calmé les appréhensions et obtenu suffisamment de résultats tangibles pour que l'existence de l'OIT ne soit plus jamais remise en cause.

II - STRUCTURE ET FONCTIONNEMENT DE L'O.I.T.

Caractère universel de l'organisation :

A l'origine l'OIT groupant 29 pays, les premiers membre de l'organisation furent les premiers membres de la société des Nations. De nos jours 80 pays sont membres de l'organisation.

La vocation de cette organisation est d'être universelle, c'est la condition même du succès de son oeuvre.

Compétence de l'OIT :

A l'heure actuelle, l'organisation traite de tout ce qui touche à la vie des travailleurs et aux questions administratives et économiques qui y sont liés.

OIT dans le système des institutions internationales :

La Charte des Nations Unies prévoyant que les institutions créés par accords gouvernementaux seraient liées aux nations unies. L'OIT fut une des premières organisations à s'associer aux Nations Unies.

Conférence Internationale du Travail :

La conférence internationale du travail est l'assemblée générale des états membres de l'organisation dont elle est l'instance suprême. Elle se réunit une fois par an.

L'ordre du jour de chaque session est établi par le conseil d'Administration du BIT.

La principale fonction de la conférence est d'établir les normes sociales internationales sous la forme de conventions et de recommandations.

Le conseil d'administration :

Le conseil d'administration du BIT est l'organe exécutif de l'OIT. Il se compose de 40 membres : 20 représentant le gouvernement, le conseil se réunit

trois fois par an. Il fixe l'ordre du jour de la conférence internationale du travail et établit le budget de l'OIT.

Le bureau international du travail :

Le bureau est le secrétariat permanent de l'organisation, c'est à la fois l'organe d'exécution des décisions de la conférence générale, et un centre de documentation , son siège est à Genève.

Il prépare les documents, fournit des renseignements et conseils qui sont demandés par les gouvernements. Le directeur général du BIT nomme le personnel, prépare les projets à soumettre au conseil d'administration.

Le bureau est divisé en services centraux et services techniques. Le BIT possède des bureaux de correspondance et des correspondants dans les capitales de nombreux pays.

Le rôle essentiel de ces représentants du BIT à l'extérieur est de maintenir la liaison avec les gouvernements et les organisations de travailleurs de leur pays, et de tenir les milieux intéressés au courant des travaux de l'OIT.

trois fois par an. Il fixe l'ordre du jour de la conférence internationale du travail et établit le budget de l'OIT.

Le bureau international du travail :

Le bureau est le secrétariat permanent de l'organisation, c'est à la fois l'organe d'exécution des décisions de la conférence générale, et un centre de documentation , son siège est à Genève.

Il prépare les documents, fournit des renseignements et conseils qui sont demandés par les gouvernements. Le directeur général du BIT nomme le personnel, prépare les projets à soumettre au conseil d'administration.

Le bureau est divisé en services centraux et services techniques. Le BIT possède des bureaux de correspondance et des correspondants dans les capitales de nombreux pays.

Le rôle essentiel de ces représentants du BIT à l'extérieur est de maintenir la liaison avec les gouvernements et les organisations de travailleurs de leur pays, et de tenir les milieux intéressés au courant des travaux de l'OIT.

- IV -

ROLE DE L'O.I.T. DANS LA PROTECTION CONTRE LES RADIATIONS
IONISANTES

Il y a plus de trente ans que l'OIT se préoccupe de la protection des travailleurs contre les effets pernicioeux des radiations ionisantes. La convention sur les maladies professionnelles de 1934, aujourd'hui ratifiée par trente deux pays, compte déjà les troubles pathologiques dus aux rayons X, au radium et autres substances radioactives. Parmi les maladies professionnelles ouvrant droit à réparation en 1948, la conférence technique tripartite élaborant le règlement type de sécurité pour les établissements industriels, à l'usage des gouvernements et de l'industrie, a consacré une importante section de cet ouvrage à la protection des travailleurs industriels contre les radiations.

Le conseil d'administration avait décidé à sa 137e session, Genève, octobre 1957, d'inscrire la question de la protection contre les radiations à l'ordre jour de la Session 1959 de la conférence internationale du travail. En 1959, la conférence a mis au point un projet de recommandation et de convention.

En 1960, la conférence, jugeant qu'il existe des principes de protection contre les radiations universellement admis, a adopté la convention complétée par une recommandation. La convention arrête les principes fondamentaux de la protection radiologique, elle s'applique à toutes les activités entraînant l'exposition des travailleurs à des radiations ionisantes. Elle établit comme principe fondamental que tous les efforts doivent être faits pour réduire au niveau le plus bas possible l'exposition des travailleurs.

La recommandation développe et précise les principes énoncés dans la convention.

Le règlement type adopté en 1948, de portée très vaste dépassé en raison du rapide développement des applications industrielles de radiations, a été révisé le 11 décembre 1957.

Les experts en ont considérablement développé la portée au sujet des substances radioactives.

Ils ont délibérément ensuite renoncé à aborder pour l'instant la question des dangers inhérents à l'extraction des minerais radioactifs.

Les nouvelles dispositions du règlement type, relatives aux concentrations maxima admissibles sont fondées sur les recommandations de la C.I.P.R.

Désireux de mettre à la disposition de l'industrie des conseils pratiques destinés à lui permettre d'appliquer les dispositions du règlement type, le BIT a publié cinq manuels :

- le premier contient les données fondamentales de la protection
- le deuxième est consacré à la radiographie et gammagraphie,
- le troisième à l'emploi des composés luminescents
- le quatrième est un guide pratique pour la protection en radiographie industrielle
- le cinquième traite des composés luminescents.

Pour établir ces manuels le BIT a consulté l'agence internationale de l'énergie atomique.

Dans le cadre de son programme d'assistance technique, le BIT contribue à la formation de personne spécialisée en protection contre les radiations.

En 1958, il organise, avec la collaboration de l'autorité de l'énergie atomique de Grande Bretagne, un cours européen de formation à l'intention de médecins et d'ingénieurs.

Telle est l'oeuvre importante de l'OIT en matière de protection.

Nous étudierons en détail son rôle dans les normes, dans la surveillance médicale et technique.

- IV -

ROLE DE L'O.I.T. DANS LES NORMESGénéralités :

La convention II5 et la recommandation II4 établit que les doses maximales admissibles doivent être fixées compte tenu des valeurs correspondantes recommandées par la commission internationale de protection contre les radiations.

En outre l'OIT recommande que les concentrations maximales admissibles de substances radioactives dans l'air et dans l'eau susceptibles de pénétrer dans l'organisme doivent être fixées sur lesdits niveaux.

L'OIT a fixé les normes dans le cadre des travailleurs adultes directement affectés ou non à des travaux sous rayonnements.

Nous étudierons donc les normes de l'OIT dans le cadre de l'exposition professionnelle

Exposition professionnelle :

Le règlement type de sécurité établit, que les doses maxima admissibles mentionnées concernent l'exposition professionnelle dans les zones surveillées, et qu'elles ne tiennent pas compte des irradiations non professionnelles, telles que celles qui résultent du rayonnement ambiant naturel et de l'utilisation des radiations à des fins médicales.

Exposition des gonades et des organes hématopoiétiques et des cristallins:

La dose totale maximum admissible accumulée au niveau des gonades, des organes hématopoiétiques et des cristallins, à tout âge supérieur à 18 ans, ne doit pas dépasser la dose de 0,1 rem par semaine.

Pour l'organisation internationale du travail cette valeur doit être utilisée pour l'élaboration des projets.

La dose maximale admissible doit se calculer par la formule que nous avons déjà vu :

$$b = 5 N - 90$$

ou b s'exprime en rems.

D'après les recommandations de l'OIT, dans les limites établies par cette formule, une personne exposée peut accumuler la dose maximale admissible à un rythme qui ne doit pas dépasser 3 rems dans toute période de 13 semaines consécutives.

Application à des cas particuliers :

I - Exposition antérieurement inconnue :

Lorsqu'on ne connaît pas avec précision l'exposition professionnelle à laquelle un travailleur a pu être antérieurement soumis, nous devons d'après l'OIT admettre qu'il a déjà reçu la dose totale permise par la formule.

II - Personnes qui commencent à travailler avant l'âge de 18 ans.

O.I.T. autorise une personne à être professionnellement exposée avant l'âge de 18 ans. Mais dans ce cas la dose ne doit jamais dépasser 5 rems par an avant 18 ans et la dose accumulée à l'âge de 30 ans ne doit pas dépasser 60 rems (cet âge minimal auquel l'exposition professionnelle est autorisée par la loi est inférieure à 18 ans dans quelques pays).

III - Exposition accidentelle élevée :

Pour l'OIT une irradiation accidentelle élevée, unique au cours de la vie et n'excédant pas 25 rems, doit être ajoutée à la dose professionnelle accumulée jusqu'au moment de l'accident, si le total dépasse alors la valeur maximale permise par la formule, l'excès ne doit pas être nécessairement compris dans les calculs futurs de la dose accumulée par la personne.

L'exposition accidentelle à des doses dépassant 25 rems doit être considérée comme grave.

Exposition exceptionnelle :

Le règlement type de sécurité prévoit le problème posé par des travaux d'urgence impliquant une irradiation qui dépasse les niveaux admissibles. Ces travaux peuvent être organisés de telle sorte que le travailleur ne reçoive pas une dose supérieure à 12 rems.

Mais cette dose sera ajoutée à la dose professionnelle accumulée jusqu'au moment de cette exposition exceptionnelle.

Si le total dépasse alors la valeur maximale admise par la formule, l'excès doit être compensé par une réduction du taux d'exposition ultérieure de telle sorte, que dans une période ne dépassant pas 5 ans, la dose accumulée soit de nouveau en accord avec la limite prescrite par la formule.

Exposition d'organes déterminés autres que les gonades et les organes hématopoïétiques.

En ce qui concerne l'exposition limitée à certaines parties de l'organisme, l'OIT admet une dose supérieure à celle qui découle de la formule

$$b = 5 N - 90$$

La dose maximale accumulée dans toute période de 13 semaines consécutives au niveau de la peau, de la thyroïde et de l'os, ne doit pas dépasser 8 rems.

L'OIT applique cette recommandation à toute exposition de la peau, à l'exception de la peau des mains et des avant-bras et des chevilles.

La valeur de 8 rems étant obtenue à partir d'une moyenne de 0,6 rem/semaine, la dose annuelle, pour une année de 50 semaines, doit être limitée à 30 rems;

base maximale de 20 rems/13 semaines pour les mains et les avant-bras

En cas d'exposition des mains et des avant bras, des pieds et des chevilles, la dose maximale accumulée dans toute période de 13 semaines consécutives ne doit pas dépasser 20 rems.

Comme la dose de 20 rems a été obtenue à partir d'une moyenne de 1,5 rem/semaine, la dose annuelle pour une année de 50 semaines, est limitée à 75 rems.

Dose maximale de 4 rems/13 semaines pour une irradiation limitée à des organes internes autres que la thyroïde, les gonades et les organes hématopoïétiques.

Dans le cas des organes internes, l'irradiation partielle est due presque exclusivement à des radio-isotopes introduits dans l'organisme. Comme la plupart des positions prises pour le rejet d'isotopes radioactifs dans l'air et dans l'eau sont élaborées en se plaçant dans les conditions d'exposition collective; on ne peut appliquer la formule $b = 5(N-18)$ pour l'irradiation interne. L'OIT admet que, dans les conditions d'équilibre, la dose moyenne délivrée à un organe donné est de 0,3 rem/semaine, si la concentration dans l'air ou dans l'eau de l'isotope considéré est maintenue aux valeurs données dans les tableaux du comité II du CIPR, dont nous donnerons un tableau résumé.

Radio-nucléide et type de croissance		Concentrations maximales admissibles pour 60 h/semaines		Organe de référence
		CNA eau $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$	CNA Air $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$	
90 38 Sr 3 ⁻	(Sol)	10^{-5}	10^{-9}	OS
230 92 U α β γ	(Sol)	7×10^{-5}	3×10^{-10}	Reins
243 94 Pu α β γ	(Sol)	$0,01 \times 6 \times 10^3$	7×10^{-5}	Foie
242 95 Am α β γ	(Sol)	10^{-4}	6×10^{-12}	OS
247 96 Cm α β γ	(Sol)	10^{-4}	5×10^{-12}	OS
250 97 B	(In sol)	6×10^{-3}	10^{-6}	transit gastro duodénal
252 98 Cp α γ	(Sol)	10^{-4}	2×10^{-12}	OS
		9×10^{-4}	10^{-11}	organisme entier
253 99 Es	(Sol)	0,06	8×10^{-10}	OS

Ces tableaux portent sur 250 radio-éléments. Les valeurs pour chaque radio-élément, concernant, selon les cas, la forme soluble, ou insoluble.

Des variations du débit des doses se produiront dans la pratique; d'après le règlement type elles pourront être tolérées à condition que la dose accumulée dans toute période de 13 semaines consécutives ne dépasse pas 4 rems.

Comme ce maximum découle d'une moyenne hebdomadaire de 0,3 rem, la dose annuelle pour une année de 50 semaines, est limitée à 15 rems.

Exposition totale de l'organisme par suite de l'absorption de plusieurs radioisotopes.

L'application des données fournies par les tableaux du comité II, est simple sauf dans le cas des mélanges du fait du métabolisme propre de chaque radioélément.

Dans le cas d'un mélange de nucléides de nature connue, le problème est simple, si ces produits s'incorporent dans les mêmes organes, on fait une sommation en cas de contamination par des radionucléides qui vont dans des organes différents, même si ces organes ne sont pas les organes hématopoiétiques ou les gonades, l'OIT considère qu'il y a irradiation de l'organisme entier, les doses admissibles d'irradiation applicable, doivent être celles qui ont été prévues pour les gonades et organes hématopoiétiques.

Si l'on ne connaît pas la nature d'un mélange de radio-nucléides, ce qui est souvent le cas, on considère que celui-ci est composé de radio-éléments les plus toxiques. Comme cela conduit à une sévérité extrême, dans la pratique, on a toujours avantage à s'assurer, pour des mélanges inconnus, de la présence de certains corps déterminés.

C'est ainsi d'après l'OIT qu'il faut procéder dans tous les cas de contamination d'air ou d'eau par des mélanges dont on connaît plus ou moins bien la nature.

Enfin, quand la nature du mélange est connue, il faut tenir compte de la contribution respective des différents radioéléments.

Irradiation des travailleurs non affectés aux opérations sous radiation.

1 - Dans le cas des adultes qui travaillent au voisinage de zones surveillées (Travailleurs non affectés aux opérations sous radiations) ou qui, occasionnellement au cours du travail, pénètrent en zone surveillée (mais ne sont pas considérés comme affectés aux opérations sous radiations), la dose totale annuelle comprenant l'irradiation par des sources aussi bien externes qu'internes, des gonades, des organes hématopoiétiques, et des cristallins qui résulte des travaux exécutés en zone surveillée, ne doit pas dépasser selon les recommandations de l'OIT 1,5 rem.

L'article 7 du règlement type précise, que l'apport d'un mélange de substances radioactives, dont l'action combinée constitue une irradiation de l'organisme entier, ne doit pas porter la dose totale annuelle au delà de 1,5 rem.

L'OIT admet une dose maximum annuelle de 3 rems pour la peau et la thyroïde, et admet que la dose annuelle maximum admissible individuelle résultant de l'irradiation interne d'un organe quelconque ne sera pas dépassée si le rejet de substances radioactive est calculé sur la base du dixième de la concentration maximum admissible dans l'air ou dans l'eau recommandée par les tableaux du Comité II.

Pour l'irradiation professionnelle continue (semaine de 168 heures)

Concentrations maximales permises des radionucléides dans l'eau pour une activité professionnelle continue de 168 heures par semaine (CIPR II, 1959)

(voir tableau ci-après)

Isotope	CMA dans l'air $\mu\text{c/ml}$	DPM/m ³
S r 90	10^{-10}	220
I 126	3×10^{-9}	6.660,0
I 129	6×10^{-10}	1.332,0
I 131	3×10^{-9}	6.660,0
P b 210	4×10^{-11}	88,8
At 211	2×10^{-9}	4.440,0
Ra 226	10^{-11}	22,2
Ac 227	8×10^{-13}	1,76
Pu 238	7×10^{-13}	1,54
Pu 240	6×10^{-13}	1,32
Pu 241	2×10^{-11}	66,6
Cf 249	5×10^{-13}	1,1

- V -

O.I.T. ET SURVEILLANCE MEDICALE

Etant donné que des expositions très supérieures aux niveaux reconnus admissibles en matière de protection contre les radiations ne se traduiraient certainement pas par des lésions qui pourraient être décelées avec les méthodes actuelles, les observations cliniques et médicales ne sont pas considérées comme des techniques parfaites pour le contrôle des risques d'irradiation. Néanmoins l'OIT estime que la surveillance médicale tient une place importante dans la protection contre ces radiations, notamment pour les raisons suivantes : d'abord, il est souhaitable, comme dans toute activité industrielle, d'éviter l'emploi de personnes incapables d'effectuer le travail en toute sécurité ou particulièrement sensibles à tel ou tel facteur du milieu ambiant du travail.

En second lieu, il est impossible d'éviter les accidents, et lorsque ceux-ci se produisent, il faut recourir aux soins médicaux.

Ainsi l'OIT dans le règlement type fixe la nature des examens médicaux à quelle fréquence toute personne effectuant un travail impliquant un danger d'irradiation doit les subir.

L'OIT définit les tâches qui doivent incomber au médecin chargé des services de la protection radiologique.

A - Nature des examens médicaux recommandés par l'organisation internationale du travail.

Ces examens médicaux doivent comprendre :

a - Dans le cas des examens d'embauchage, une anamnèse complète portant sur les antécédents familiaux, médicaux et professionnels et, dans le cas des examens périodiques ou spéciaux une recherche des risques professionnels dus aux radiations ionisantes.

b - Un examen clinique d'ensemble.

c - des examens particuliers portant sur les tissus ou les organes les plus sensibles aux radiations ou les plus exposés du fait de risques courus, par exemple :

1 - un examen hématologique en cas d'irradiation globale de l'organisme d'origine externe ou interne.

2 - un examen cutané en cas d'irradiation partielle externe ou de contamination radioactive interne.

3 - Un examen ophtalmologique en cas d'exposition à des neutrons ou à des rayonnements corpusculaires.

4 - Un examen radiotoxicologique en cas de contamination radioactive interne.

5 - Un examen pulmonaire en cas d'inhalation d'aérosols ou de gaz radioactifs.

- Les examens hématologiques devraient comprendre :

- a - numération des hématies, des leucocytes et des thrombocytes
- b - la formule leucocytaire.
- c - recherche des anomalies cellulaires
- d - dosage de l'hémoglobine
- e - étude de la coagulation sanguine.

En réalité il existe des fluctuations individuelles très importantes, et d'autre part, pour avoir des variations significatives, il faut que les individus soient irradiés à des doses relativement élevées.

C'est pour cette raison que l'OIT et l'institut national des sciences et techniques nucléaires recommandent une réaction plus sensible pour des doses faibles.

La réaction est basée sur une coloration de cellules de la moelle osseuse avec le jaune d'acridine. En mettant les cellules de moelle osseuse en suspension dans une solution de jaune d'acridine, on a toujours chez les sujets normaux, au moins 90 % de cellules donnant une fluorescence verte en lumière ultra-violette. Après des doses faibles de 100 rads, on observe une diminution du nombre des cellules vertes et l'apparition d'une proportion plus ou moins grande des cellules rouges.

- Examens cutanés :

Les examens cutanés devraient viser non seulement au dépistage des dermites et des cancers, mais aussi à celui des modifications discrètes telles qu'effacement des empreintes digitales.

Il est connu que les modifications des empreintes digitales constituent une radio-lésion élémentaire cutanée, l'OIT s'est préoccupé de ces manifestations. La surveillance des empreintes digitales ne concerne que les personnes qui travaillent avec des émetteurs - .

Il existe un appareillage portatif qui permet de faire une photographie d'empreintes. L'appareil est constitué par un jeu de trois miroirs inclinés à 45° permettant de photographier les trois faces du doigt.

- Examens ophtalmologiques :

Les examens ophtalmologiques devraient porter essentiellement sur les altérations cristalliniennes.

Il y a de nombreuses raisons de penser que le cristallin n'est particulièrement sensible qu'aux rayonnements particuliers de TEL élevé (neutrons ayant une énergie de 1 Mev).

L'OIT recommande pour les travailleurs exposés aux neutrons un examen ophtalmologique. Cependant dans la pratique, on se heurte au problème des petites opacités congénitales du cristallin.

De l'avis général des ophtalmologistes, il existe une proportion de l'ordre de 50 % de personnes qui présentent des petites opacités congénitales.

En fait, jusqu'à présent, au cours d'une période de surveillance ophtalmologique de dix ans, le service médical de Saclay n'a jamais constaté d'atteinte d'origine professionnelle du cristallin.

Cependant, une récente publication américaine fait état de sept cas de cataractes professionnelles survenus sur des personnes travaillant autour d'accélérateurs.

Sur le plan médico-légal, c'est dans quelques années que les problèmes de cataracte professionnelle se poseront. C'est la raison pour laquelle l'OIT est très sévère.

- Les examens radiotoxicologiques :

Ces derniers devraient à la fois renseigner sur la nature et l'importance de la contamination radio-active interne, par des mesures et analyses effectuées directement sur l'organisme et indirectement sur les excréta (urines, fèces, air exhalé)

Dans la première partie nous avons vu les problèmes complexes de mesure de la contamination interne, avec le développement de l'énergie atomique, les problèmes de mesure prennent de plus en plus de l'extension.

- Examen pulmonaire :

L'examen pulmonaire devrait comprendre la détection des effets complexes (mécaniques, chimiques et radioactifs , des aérosols et gaz radioactifs.)

Cet examen médical est conforme aux dispositions du paragraphe 30 du règlement type de sécurité.

B - Fréquence de ces examens médicaux recommandés par l'OIT.

1 - Aucune personne ne doit être employée à un travail impliquant un danger d'irradiation sans avoir subi, dans les deux mois précédant son admission à ce travail, un examen médical conforme au paragraphe 30.

2 - Toute personne effectuant un travail impliquant un danger d'irradiation doit subir au moins une fois par an et, si possible, tous les six mois, un examen médical conforme aux dispositions du paragraphe 30.

3 - Ces examens médicaux doivent être effectués chaque fois que les circonstances l'exigent, par exemple en cas de sur-exposition ou de contamination radio-active.

- Rôle du médecin chargé des services de la protection radiologique :

I - Arrêt de travail ou changement d'occupation.

Le paragraphe 31 du règlement type établit que le médecin procédant à l'examen des travailleurs susceptibles d'être exposés à un danger d'irradiation doit avoir le pouvoir :

- a - de requérir l'arrêt momentané de leur travail
- b - de demander leur transfert à une autre occupation.

Il est spécifié de plus qu'aucun travailleur ne doit, après une interruption du travail ou un changement d'occupation, être employé sans autorisation écrite du médecin à un travail susceptible d'impliquer un danger d'irradiation.

II - Archives sanitaires .

L'OIT précise, que des dossiers sanitaires doivent être établis pour tout travailleur exposé à un danger d'irradiation, qu'ils doivent être conservés au service médical de l'établissement industriel, sous la responsabilité du médecin, que ces dossiers mis à jour par le médecin doivent comporter des données concernant au moins :

a - La nature du travail impliquant un danger d'irradiation et le type de radiations entrant en ligne de compte ;

b - les résultats fournis par les contrôles d'irradiations.

c - Les résultats des examens médicaux effectués conformément aux dispositions du paragraphe 30 du règlement type de sécurité.

Nous avons vu dans la première partie que les dossiers ne sont autres que des fiches de nuisance que l'on trouve dans de nombreux centres de recherche nucléaire.

Par ailleurs, l'OIT recommande que dans chaque pays, les dossiers sanitaires soient conservés et normalisés à l'échelle nationale.

III - Sur-exposition aux radiations :

Chaque fois qu'un travailleur a été soumis à une irradiation dépassant les valeurs maxima admissibles mentionnées précédemment il doit subir les examens médicaux nécessités par les circonstances de la sur-exposition.

L'OIT charge le médecin d'étudier les circonstances dans lesquelles s'est produite la surexposition et de présenter un rapport, et de tirer les conclusions de ce rapport sur les effets éventuels pour le travailleur et prendre les

mesures nécessaires conformément aux dispositions du paragraphe 3I du règlement type de sécurité.

IV - Désignation d'un médecin compétent.

L'OIT demande que le médecin chargé de la protection radiologique possède une certaine compétence dans les domaines de la physique, de la chimie . . .

Au Royaume Uni c'est actuellement un médecin qui est à la tête de ce service de protection.

D'après les recommandations de l'OIT il s'est entouré d'un "état major" groupant des personnes appartenant aux deux grandes catégories de disciplines : technique et médicale ou biologique.

En France le SCPRI est dirigé par un médecin le Professeur PELLERIN.

L'OIT et le rôle du médecin dans la détermination du caractère professionnel des maladies.

Deux conventions relatives à la réparations des maladies professionnelles ont été adoptées par la conférence internationale du travail : la convention n° 13, ratifiée en 1925, et la convention N° 42 qui n'est autre que la révision de la précédente, ratifiée en 1934. Toutes deux sont basées sur le système de listes avec présomption d'origine pour les maladies figurant au tableau.

C'est en 1934, dans la convention n° 42 que fut introduite parmi les 10 maladies professionnelles ouvrant droit à la réparation une rubrique concernant les troubles pathologiques dus aux substances radioactives.

L'article 2 de la convention stipule : troubles pathologiques dus :

- a - au radium et autres substances radioactives
- b - aux rayons X

dans tout procédé exposé à l'action du radium des substances radioactives et des rayons X."

A l'heure actuelle, trente trois pays ont ratifié cette convention, et ont introduit dans leur législation de réparation un tableau concernant les radiations.

Parmi les pays ayant un tableau se référant aux radiations ionisantes, certains assortissent ce tableau de dispositions limitatives.

Souvent figure une liste des symptômes pathologiques dont la constatation est nécessaire pour que la maladie soit reconnue.

Cette liste est établie pour englober la majeure partie des affections connues comme susceptibles d'être provoquées par les radiations.

Malgré l'adoption d'un système de listes détaillées, l'OIT affirme que le rôle du médecin doit rester très important.

L'OIT demande au médecin un diagnostic étiologique établissant la relation de cause à effet entre les troubles constatés et l'exposition aux radiations.

Une telle expertise demandée par l'OIT se heurte à des difficultés importantes car la plupart des affections provoquées par les radiations sont de caractère banal.

Les troubles sanguins, oculaires, cancers osseux ou pulmonaires sont des affections qui se rencontrent en pathologie courante.

Certes les conditions d'apparition, le travail effectué, la notion d'une irradiation accidentelle, localisation des lésions, constituent des éléments qui peuvent simplifier ce diagnostic étiologique, mais, dans un certain nombre de cas, le médecin qui constatera ces troubles aura seulement la notion d'exposition possible.

S'il a pu obtenir des indications précises, sa tâche n'est pas toujours simplifiée.

Il existe en effet des notions de sensibilité individuelle qu'ignorent les normes les mieux établies.

L'OIT affirme que c'est par sa compétence et son expérience que le médecin établira son diagnostic avec le maximum de certitude et donnera un avis.

- VI -

ROLE DE L'OIT DANS LA SURVEILLANCE TECHNIQUEI - OIT et contrôle de l'irradiation.

Il est spécifié dans la convention, qu'un contrôle approprié des travailleurs et des lieux de travail devrait être effectué afin de mesurer l'exposition des travailleurs à des radiations ionisantes et à des substances radioactives, en vue de vérifier que les niveaux fixés sont respectés, que dans le cas d'irradiation externe, le contrôle devrait s'exercer à l'aide de films, de dosimètres ou d'autres moyens appropriés, que dans le cas d'irradiation interne, lorsqu'il existe des raisons de croire que les niveaux maximaux admissibles peuvent être approchés ou ont été dépassés, ce contrôle devrait comprendre l'évaluation :

a - de la contamination radioactive,

b - si possible, de la quantité de substances radioactives présente dans l'organisme, que ce contrôle devrait permettre de déterminer outre la mesure de l'irradiation de l'ensemble de l'organisme l'irradiation partielle la plus préjudiciable à l'organisme, que l'autorité compétente devrait, partout où cela est approprié, prescrire les contrôles destinés à la détection de la contamination des mains, du corps et des vêtements des personnes quittant un lieu de travail.

L'OIT dans son règlement type apporte certaines précisions :

Il est spécifié, que des techniques d'évaluation des quantités de substances radioactives présentes dans l'organisme devraient en outre, autant que possible

permettre d'identifier les nucléides radioactifs retenus dans le corps.

De même des techniques de contrôle individuel de l'irradiation externe doivent, autant que possible, permettre non seulement la mesure de la dose, mais aussi la détermination du type et des qualités des radiations ionisantes mises en cause.

L'OIT établit que des techniques de contrôle individuel doivent être élaborées en consultation avec un expert qualifié, qui doit également être consulté chaque fois qu'il est envisagé d'y apporter des modifications et que la détermination de l'irradiation doit être effectuée par un service compétent ou un expert qualifié.

II - Rôle de l'OIT dans la surveillance des sources.

A - Sources scellées et appareils générateurs des radiations ionisantes.

a - Dispositions générales

Champ d'application :

Les dispositions de ce chapitre s'appliquent aux sources scellées et à tous les appareils susceptibles d'entraîner seulement une irradiation externe des travailleurs, tels qu'appareils de radiologie et bombe au cobalt utilisé en radiothérapie.

Les installations à rayons X :

L'OIT classe ces installations en deux catégories, installations en enceinte protectrice utilisées en radiologie qu'il s'agisse d'installations en enceinte ou d'installations sans enceintes, l'OIT insiste sur les points ci-après qui doivent être pris en considération lors de la construction.

a - Dans toute zone contrôlée occupée, située hors de l'enceinte protectrice d'une installation de radiologie, l'intensité du rayonnement ne

devrait pas être supérieure à 100 mR/h ou dépasser en moyenne :

$$\frac{100}{V X T X \text{ heures d'irradiation par semaine}} \text{ mR/h}$$

Lorsque le faisceau de rayons X est réglé de manière que l'on obtienne au point considéré l'intensité d'irradiation maximale, l'appareil à rayons X fonctionnant à son régime nominal maximal.

b - Dans toute zone occupée située hors de la zone contrôlée, l'intensité du rayonnement ne devrait pas être supérieure à 10 m R/h ou dépasser en moyenne :

$$\frac{10}{V X T X \text{ heures d'irradiation par semaine}} \text{ mR/h}$$

lorsque le faisceau de radiations est réglé de manière qu'on obtienne au point considéré l'intensité d'irradiation maximale, l'appareil à rayons X fonctionnant à son régime normal proximal.

V représente le facteur d'utilisation, et
T le facteur d'exposition effective.

Facteurs d'exposition effective et d'utilisation pour différents types de zone (OIT Protection contre les radiations ionisantes, partie IV).

(voir tableau ci-après)

Exposition effective (T)

Exposition à temps complets $T = 1$	Zones de commande, bureaux , chambres noires
Exposition à temps partiel $T = 1/4$	Corridors trop étroits, chambres de débarras salles de repos non utilisées régulièrement
Exposition occasionnelle $T = 1/16$	Réduits trop exigus pour être occupés
<u>Utilisation</u> Utilisation complète $V = 1$	Parquet des locaux d'irradiation, surfaces des murs et des plafonds des locaux d'irradiation exposés régulièrement au faisceau utile.
Utilisation partielle $V = 1/4$	Portes et surfaces des murs des locaux d'irradiation non exposées régulièrement au faisceau utile
Utilisation occasionnelle $V = 1/16$	Surfaces des plafonds des locaux d'irradiation non exposées régulièrement au faisceau utile.

Installation sans enceinte :

Appareils de radioscopie :

Le radiologiste est soumis à trois sortes de rayonnements :

a - Le rayonnement de fuite qui provient d'un vice de construction de l'appareil.

b - le rayonnement direct, qui est de beaucoup le plus dangereux.

c - Le rayonnement diffus, qui est émis en tous sens et ne représente qu'une fraction minime de l'ordre de $1/100$, de l'énergie du rayonnement direct. S'il est peu dangereux pour le malade, en revanche la radiologiste et ses aides ne peuvent guère sans protéger que de deux façons, en s'éloignant du tube radiogène et en interposant entre la source émettrice, le corps du malade et leur propre corps, un écran absorbant qui est du plomb.

L'OIT a surtout essayer de fixer des normes de protection contre le rayonnement de fuite et contre le rayonnement diffus.

Protection contre les rayonnements X en dehors du rayonnement primaire.

L'OIT recommande que le rayonnement de fuite ne dépasse pas le quart du rayonnement secondaire, puis elle fixe pour les appareils de radiologie des valeurs maximales de rayonnement de fuite mesurées à un mètre du tube radiogène.

Quatre paliers sont prévus, qui combinent les normes de nombreux pays:

moins de 120 kV	60 $\mu\text{r}/\text{s}$
160 Kv	100 $\mu\text{r}/\text{s}$
200 Kv	150 $\mu\text{r}/\text{s}$
plus de 250 kv	250 $\mu\text{r}/\text{s}$

De plus, l'OIT prévoit une distance maximale entre la table de commande et la source de rayons X à respecter en fonction des kilovolts.

30 à 160 Kv	5 m
160 Kv à 200 Kv	6 m
200 Kv à 250 Kv	6 m / 3
250 Kv à 300 K	7 m

Si l'on admet pour chaque cas que le rayonnement pouvant être reçu est le quadruple de la fuite normale, divisé par le carré de la distance, l'on voit qu'à 160 Kv à 5 m, l'opérateur est soumis au maximum à un rayonnement de $\frac{240 \mu r/s}{25}$

à 200 Kv à 6 m à un rayonnement de $\frac{240 \mu r/s}{36}$

à 250 Kv à 7 m à un rayonnement de $\frac{600 \mu r/s}{49}$

Dans tous les cas, le débit est de l'ordre de $11 \mu r/s$

L'OIT exige que l'opérateur puisse toujours se troubler, à cette distance minimum, ce qui ramène la dose reçue par l'opérateur à 10 rem/s

A ce rayonnement de fuite vient s'ajouter le rayonnement diffusé, qui est émis en tous sens et ne représente qu'une fraction minime (de l'ordre de 1/1000) de l'énergie du rayonnement direct.

Pour réduire ces risques l'OIT recommande un certain nombre de règles pratiques aux radiologistes :

- Installer le coffret de commande à une distance aussi grande que possible en respectant les valeurs minimales et ce, toujours dans une direction opposée à celle du rayonnement direct;

- Placer un écran légèrement plombé, de 1 max 2 mm , près du pupitre de commande

- Ne jamais tolérer que le personnel occupe la zone d'irradiation dans un rayon inférieur à la distance minimale du tube radiogène.

- Revêtir, lorsque cela est nécessaire son corps et ses mains de tabliers et de gants protecteurs.

Installation en enceinte :

Appareils de radiothérapie :

La radiothérapie recourt aux sources scellées d'émetteurs gamma depuis plusieurs dizaines d'années.

Le radionucléide le plus employé est le cobalt 60.

Il possède une période de 5,3 années, une énergie quantique de 1,17 à 1,33 Mev, et une intensité par curie à une distance de 1 m de 1,35. Cet émetteur gamma encapsulé est renfermé dans une enveloppe protectrice, et utilisé dans un local suffisamment blindé et commandé de l'extérieur.

L'OIT recommande un certain nombre de dispositions.

Capsules :

Les sources de rayonnement gamma doivent être scellées dans des capsules en métal résistant.

Les parois de la capsule devraient être suffisamment épaisses pour absorber la totalité des rayons beta, car ceux-ci ne sont d'aucune utilité en radiothérapie.

Avec les émetteurs de grande activité, l'intensité du rayonnement est très élevée à l'intérieur de la source elle-même, ce qui peut entraîner une décomposition des sels et d'autres constituants de moindre importance

A l'usage, il est possible que les défauts apparaissent dans les capsules et que la matière radioactive s'échappe dans le milieu ambiant. Il est donc indispensable de vérifier régulièrement et systématiquement, grâce à un prélèvement par frottis, les sources scellées, le voisinage immédiat de ces sources. L'étanchéité de cette source scellée doit être contrôlée par un expert qualifié.

L'intervalle entre deux contrôles successifs ne doit pas être dépasser une année.

Enveloppe protectrice de source :

L'enveloppe protectrice de la source encapsulée devrait être conçue de telle sorte que lorsque l'appareil est en position d'arrêt, le rayonnement n'excède pas en moyenne 2 mR/h à une distance de 1m de la source ou 20 mR/h à 5 cm de la surface de l'enveloppe, et au maximum 10 mR/h dans le premier cas et 100 mR/h dans le second. La manoeuvre de l'obturateur doit être effectuée par télécommande à partir de l'extérieur de l'enceinte blindée.

Des voyants lumineux devraient être installés au-dessus de la porte du local d'irradiation, ainsi que sur le pupitre de commande pour signaler que la source ne se trouve pas dans son blindage protecteur.

Toutes les portes du local d'irradiation devraient être pourvues d'interrupteurs électriques commandés par les portes et empêchant toute irradiation tant qu'une porte reste ouverte.

Lorsqu'il est commandé électriquement, le dispositif de déplacement de la source ou de l'obturateur du faisceau devrait être conçu de telle sorte qu'en cas de panne de courant la source retourne automatiquement en position de sécurité ou que l'obturateur intercepte automatiquement le faisceau utile.

Recensement des sources scellées :

En conformité avec l'OIT un registre de toutes les sources scellées doit être tenu et les renseignements suivant doivent notamment y être consignés :

- a - le numéro de série
- b - la nature de la source, la date de sa réception
- c - la date et le mode d'évacuation de la source lorsqu'elle n'est plus sous la responsabilité de l'établissement
- d - une personne compétente doit procéder au recensement des sources présentes dans l'établissement aux intervalles fixés par l'autorité compétente.

Salles de radiothérapie :

Dispositifs généraux de sécurité :

Des mesures de protection doivent être prises pour éviter la mise en marche des appareils tant que des personnes se trouvent dans le local d'irradiation.

Le local doit comprendre une seule porte, celle-ci doit être située à proximité du pupitre de commande.

Les portes donnant sur un local; de radiothérapie doivent être dépourvues d'interrupteurs asservis empêchant l'irradiation tant que les portes ne sont pas fermées.

L'installation doit être aménagée de manière qu'une personne enfermée accidentellement puisse ouvrir à l'intérieur la porte du local ou atteindre un interrupteur clairement signalé.

Blindage du local :

Le calcul du blindage du local fait intervenir les recommandations de l'OIT. En effet, les parois du local où sont utilisés les rayons X et gamma, doivent réduire l'intensité du rayonnement à 100 mr/semaine, pour des locaux occupés en permanence.

Pour les couloirs cette dose est ramenée à 12/semaine, sur toutes les parois doivent figurer des marques indélébiles indiquant : la valeur de la protection.

La valeur de la protection doit être donnée de la façon suivante :

- a - S'il s'agit de plomb :
valeur de l'épaisseur en millimètre, suivie du mot plomb.
 - b - S'il s'agit d'autres matériaux opaques :
Valeur de l'épaisseur équivalente de plomb, en millimètre, précédé de "Eq" et suivie du mot "plomb" et de la tension en Kv pour laquelle l'équivalence est établie (ex. eq. 2 mm plomb 125 Kv).
- Pour que cette protection soit efficace, il importe de prendre une série de mesures de précautions secondaires énoncées par l'OIT :
- a - Il faut éviter de placer le plomb en contact avec des matériaux susceptibles de nuire à sa conservation.
 - b - La surface externe du plomb devra être recouverte d'une couche de bois pour arrêter les radiations secondaires (notamment les électrons) que le plomb est susceptible d'émettre.
 - c - Les parois protectrices doivent pénétrer sur 10 cm au moins dans le plafond et le plancher.
 - d - Les portes doivent couvrir l'ouverture entièrement de telle sorte que le passage des rayons X et gamma soit empêché.

Lorsque ces protections sont réalisées, il est nécessaire de vérifier leur efficacité.

Les mesures doivent toujours être effectuées avec l'appareil travaillant à la tension maximale et au débit maximal.

Stockage et transport des sources scellées.

Lorsqu'elle n'est pas utilisée, la source devrait être maintenue dans une enveloppe protectrice pourvue d'un blindage suffisant pour qu'aucun travailleur ne soit exposé à une irradiation dépassant les niveaux admissibles et que les personnes se trouvant hors de la zone contrôlée ne reçoivent une dose supérieure à 500 milli r. par an. Le récipient de stockage devrait porter l'indication du degré d'activité (en curus).

Lors du transport l'intensité de rayonnement maximale fixée par l'O.I.T. est de 200 milli roentgen/heure à la surface du colis.

Sources non scellées.

a - Dispositions générales.

Les dispositions de l'O.I.T. s'appliquent notamment à la préparation, au conditionnement, à l'utilisation et au stockage des sources non scellées composées de substances radioactives dans l'industrie ; elles ne s'appliquent pas aux usines métallurgiques tirant des substances radioactives naturelles, aux réacteurs nucléaires.

Limitation de l'irradiation :

Aucun travailleur ne doit s'exposer à une irradiation externe ou à une contamination radioactive dépassant les niveaux maxima admissibles mentionnés par l'OIT.

Classement des lieux de travail :

L'OIT classe les lieux de travail compte tenu :

- a - de la nature des opérations effectuées
- b - des nucléides radioactifs qu'elles contiennent
- c - des quantités de substances mises en oeuvre.

Les opérations sont classées, en suivant l'ordre croissant du danger d'irradiation.

Le diagramme ci-dessus permet, dans la mesure compatible avec la complexité du sujet, de déterminer le type de lieu de travail requis dans le cas d'opérations ordinaires.

Pour les lieux de travail de type I, équipement et méthodes de travail habituels sont suffisants.

Pour les lieux de travail du type II, équipement et les méthodes de travail habituels doivent être modifiés pour tenir compte des dangers plus élevés d'irradiation externe et interne.

Pour le type III, l'équipement et les méthodes de travail doivent être spécialement choisis en fonction des dangers d'irradiation externe et interne.

Les lieux de travail des trois types devraient être réservés exclusivement aux travaux sur substances radioactives.

Un expert qualifié doit être consulté sur les problèmes de protection posé par chaque opération particulière.

Mesures de protection :

Les parois et les sols des lieux de travail doivent :

- a - soit être constitués par des matériaux lisses et imperméables
- b - soit être pourvus d'un revêtement présentant une surface lisse et imperméable.

L'atmosphère des lieux de travail doit être maintenue, dans toute la mesure du possible, à des niveaux de concentration radioactive inférieurs aux valeurs maxima admissibles mentionnées par l'OIT.

Un renouvellement de l'air par des systèmes de ventilation appropriés doit être assuré.

Cette ventilation doit être effectuée de façon telle qu'il ne puisse y avoir de recyclage et que l'air rejeté ne puisse ultérieurement contaminer un autre lieu de travail.

Dans le cas où la concentration radioactive de l'atmosphère ne peut être ramenée au-dessous des valeurs maxima admissibles, des moyens de protection individuels contre la contamination radioactive doivent être fournis au personnel.

Toute personne manipulant des substances radioactives doit disposer d'une surface de travail ayant au moins 1,20 m de largeur et 50 cm de profondeur.

Protection individuelle :

Le choix des méthodes de travail doit tenir compte des techniques impliquant le plus faible danger d'irradiation. Les techniques susceptibles d'entraîner la formation d'aérosols radioactifs devraient être évitées.

Aucune source non scellée de substances radioactives ne doit être manipulée à main nue.

Tous les travailleurs manipulant des sources non scellées doivent disposer de douches.

Des essuie-mains et des mouchoirs de papier, à jeter après l'emploi, doivent être mis à la disposition des travailleurs. Ceux-ci doivent être traités comme des résidus radioactifs combustibles.

Nul ne doit introduire, à l'intérieur du local :

- a - de la nourriture
- b - des articles pour fumeur
- c - des cosmétiques
- d - des mouchoirs de poche autre que les mouchoirs de papier mentionnés par l'OIT.

Nul ne doit quitter un lieu de travail où sont préparées des sources non scellées sans s'être soumis aux contrôles de la contamination radioactive des mains, du corps et des vêtements prescrits par l'autorité compétente.

Les vêtements de protection, adaptés aux risques de contamination radioactive, doivent être fournis par l'employeur.

Tous les vêtements de protection doivent être contrôlés périodiquement et nettoyés par des méthodes réduisant le plus possible la dispersion de la contamination radioactive.

Décontamination :

En cas de contamination radioactive dépassant les niveaux maxima admissibles, des mesures de décontamination radioactive doivent être prises.

Les opérations de décontamination radioactive recommandées par l'OIT devraient être conduites dans l'ordre suivant :

- a - repérage et appréciation de la contamination
- b - limitation de la dispersion de la contamination
- c - réduction de la contamination
- d - vérification de l'efficacité de la décontamination.

La décontamination des lieux de travail doit être entreprise immédiatement :

- soit par voie humide
- soit par une autre méthode appropriée telle que l'utilisation de bandes adhésives.

Les liquides radioactifs répandus accidentellement doivent être absorbés à l'aide de matières appropriées.

Lorsque les poudres radioactives sont répandues, tous les systèmes de ventilation susceptibles de soulever la poussière doivent être arrêtés.

La décontamination doit être effectuée par le plus petit nombre possible de travailleurs, équipés à cet effet de vêtements spéciaux.

Tous les instruments de décontamination doivent être exclusivement réservés à cet usage, décontaminés après leur utilisation, conservés dans des armoires appropriées.

Lorsqu'il est impossible d'obtenir par décontamination une production suffisante, les lo aux contaminés doivent être désaffectés et un signe de danger approprié doit permettre à tout travailleur de connaître cette désaffectation.

Stockage des sources non scellées :

Les précautions spéciales ci-après recommandées par l'OIT devraient être observées en cas de risque de contamination radioactive:

Les solutions stables ayant une activité alpha supérieure à 5 millicuries ou une activité bêta supérieure à 50 millicuries, de même que les solutions instables (quelle que soit leur activité), devraient être stockées dans des récipients pourvus d'orifice d'aération,

Les solutions ayant une activité alpha supérieure à 1 millicurie par cm³ ne devraient pas être stockées dans des récipients de verre à parois minces.

Les flacons renfermant un liquide radioactif devraient être placés dans des cuves de dimensions suffisantes pour retenir la totalité du contenu des flacons en cas de bris.

Toutes les substances radioactives stockées doivent être enregistrées. Les lieux de stockage doivent être régulièrement inspectés.

Résidus radioactifs :

L'OIT entend par résidus radioactifs, soit les reliquats des sources non scellées, soit les déchets provenant des opérations effectuées sur ces sources.

Les problèmes posés par les résidus radioactifs sont étudiés par l'OIT en fonction :

- a - de leur état physique
- b - de leurs caractéristiques radioactives

Les résidus radioactifs solides devraient être séparés en résidus combustibles et non combustibles.

Les résidus combustibles devraient être incinérés dans un incinérateur conçu à cet effet et qui doit éviter toute dispersion de la radioactivité.

Les résidus liquides doivent être séparés selon leur activité spécifique et la toxicité des substances radioactives qu'ils contiennent.

Le rejet des résidus liquides dans les canalisations courantes d'eaux usées ne devrait être effectué à conditions de prendre certaines précautions appropriées.

Avant d'évacuer des déchets liquides dans les collecteurs publics, on devra en aviser les autorités compétentes pour être certain qu'il n'est pas évacué d'autres déchets radioactifs pouvant donner lieu à un effet cumulatif.

Les déchets doivent pouvoir se dissoudre aisément dans l'eau, on doit en outre tenir compte des modifications possibles du pH, ainsi que d'autres facteurs physicochimiques qui peuvent entraîner la précipitation ou la vaporisation des matières diluées.

L'OIT prévoit une limite restrictive de sécurité.

La concentration finale dans les eaux usées doit être au moins dix fois inférieures aux valeurs fixées pour l'exposition professionnelle.

Les résidus radioactifs se présentant sous forme d'aérosols ou de gaz doivent être :

a - soit dispersés, avec ou sans dilution, dans l'atmosphère si le danger d'irradiation qui en résulte est inférieur au dixième des valeurs maximales admissibles, mentionnées par l'OIT.

b - soit filtrés conformément aux instructions de l'autorité compétente.

Les résidus solides auxquels peut aboutir la filtration doivent être traités conformément aux dispositions précédentes de l'OIT.

Dispositions spéciales :

Lieux de travail du type I :

La ventilation doit être analogue à celle d'un laboratoire courant de chimie.

Le personnel doit porter des vêtements simples de protection, par exemple des blouses du type utilisé dans les laboratoires de chimie.

Le contrôle des lieux de travail doit être effectué périodiquement pour vérifier la contamination radioactive des surfaces.

Le personnel doit porter des détecteurs individuels d'irradiation externe.

Lieux de travail du type II :

Les parois et les sols doivent être pourvus de revêtements lisses et imperméables.

La ventilation doit assurer l'évacuation des substances dangereuses et éviter tout recyclage.

L'entrée des lieux de travail doit être interdite aux personnes non autorisées.

Les vêtements de protection doivent consister en blouses à fermeture étanche.

Un contrôle des lieux de travail doit être effectué pour vérifier régulièrement la contamination radioactive de l'atmosphère.

Lieux de travail du type III :

Les lieux de travail doivent être réservés aux opérations sur substances radioactives et complètement isolés des autres zones de travail.

Des vêtements de protection spéciaux doivent être fournis , un premier lot de vêtements, identifié de manière voyante, doit être réservé aux travaux en zone active et comprendre des blouses à fermeture étanche. Un deuxième lot, différemment identifié, doit être affecté aux travaux ne présentant pas de risque de contamination radioactive.

La surveillance de l'irradiation sur les lieux de travail doit comporter le contrôle continu de la contamination radioactive de l'atmosphère.

Le stockage des substances radioactives doit se faire dans un local prévu à cet effet et pourvu d'un blindage.

CONCLUSIONS

- 1 - L'essentiel de la protection contre les radiations ionisantes repose sur la définition de normes et la mise au point de contrôles dosimétriques.
- 2 - Ce contrôle dosimétrique n'est que l'un des éléments de la surveillance technique des installations, complétée elle-même par la surveillance médicale des travailleurs.
- 3 - Dans ces trois domaines (définition des normes, surveillance médicale, surveillance technique) l'organisation internationale du travail a réalisé une oeuvre considérables, poursuivie depuis plus de trente ans.
- 4 - L'application pratique dépend des états membres. Le nombre de ratifications, déjà élevé, montre que ceux-ci ont compris toute l'importance du problème.

C O N C L U S I O N

L'action de l'organisation internationale du travail dans la protection contre les radiations ionisantes s'est traduite avant tout par l'établissement de normes de protection conformément à la vocation de l'organisation, qui a toujours été d'abord la mise au point d'une réglementation internationale du travail.

Il faut reconnaître que le nombre de ratifications de la convention 115 est encore, inférieur à celui qui est noté pour d'autres conventions internationales de l'O.I.T.

Mais l'industrie nucléaire est encore peu répandue dans le monde, et si l'on tient compte de ce fait, la proportion de ratifications est tout à fait honorable.

Il faut noter en outre que les normes ont pu être acceptées par des pays aussi différents que la Suède et l'Irak.

Ainsi l'O.I.T. a pleinement rempli son rôle depuis déjà une trentaine d'années dans l'un des secteurs de pointe de l'activité industrielle et scientifique moderne.

vu, le Président de thèse :

Vu, le Doyen de la Faculté :

M. BLANCHER

G. BROUET

vu et permis d'imprimer
le Recteur de l'Académie de Paris

J. ROCHE

B I B L I O G R A P H I E

- O.I.T. Cours sur la protection contre les radiations ionisantes dans l'industrie.
Genève 1963.
- B.I.T. (bureau internationale du travail)
Convention II5 et recommandation II4
Genève BIT 1960
- B.I.T. Manuel de protection contre les radiations ionisantes dans l'industrie
Partie II : règlement type de sécurité concernant les radiations ionisantes
Partie III : Guide général pour la protection contre les radiations ionisantes
Partie IV : Protection en radiographie, radioscopie et gammagraphie industrielle.
- C.I.P.R. Recommandations de la commission internationale de protection radiologique
Londres, New-York, Pergamon Press, 1959
- C.I.P.R. Comité II sur la dose admissible
publication 2, 1962
- Protection Against radiation - John B ABATT DJ. MATHIAS
London 1964

II

Nations Unis - Comité scientifique pour l'étude des effets des radiations
ionisantes

Rapport A/3838, 1958

A/5216, 1962 New-York

TUBIANA M.-

Bases physiques de la radiothérapie

1 vol. Masson et Cie édit. Paris 1963

LACASSAGNE.-

Action des radiations ionisantes sur l'organisme

1 vol. Masson et Cie ed. Paris 1966.

oOo

